

07162 US

創策

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2003年 1月10日

出 願 番 号

Application Number:

特願2003-003869

[ST.10/C]:

[JP2003-003869]

出 願 人

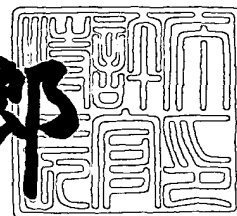
Applicant(s):

株式会社ニコン

2003年 5月27日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3039115

【書類名】 特許願

【整理番号】 02-01264

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン
内

【氏名】 重松 幸二

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン
内

【氏名】 藤島 洋平

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン
内

【氏名】 大村 泰弘

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン
内

【氏名】 石山 敏朗

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代理人】

【識別番号】 100095256

【弁理士】

【氏名又は名称】 山口 孝雄

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-196212

【出願日】 平成14年 7月 4日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033020

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9302511

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 投影光学系、露光装置、およびデバイス製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1物体のパターン像を第2物体上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系は、1.6以下の屈折率を有する光学材料で形成され、前記第1物体側および前記第2物体側の双方に実質的にテレセントリックであり、

光の波長を λ とし、前記第1物体と前記第2物体との距離を L とし、前記第2物体側の開口数を NA とし、前記第2物体上における最大像高を Y_0 としたとき

$$(\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) < 1.5 \times 10^{-3}$$

の条件を満たしていることを特徴とする投影光学系。

【請求項2】 前記投影光学系の射出瞳と前記第2物体との距離を E とし、前記第1物体と前記第2物体との距離を L としたとき、

$$E / L > 1.2$$

の条件を満たしていることを特徴とする請求項1に記載の投影光学系。

【請求項3】 前記投影光学系を構成するすべての光学部材が単一種の光学材料で形成されていることを特徴とする請求項1または2に記載の投影光学系。

【請求項4】 少なくとも1つの光学面が非球面形状に形成されていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項5】 第1物体のパターン像を第2物体上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系は、1.6以下の屈折率を有する光学材料で形成され、前記第1物体側および前記第2物体側の双方に実質的にテレセントリックであり、

少なくとも1つの光学面が非球面形状に形成され、

光の波長を λ とし、前記第1物体と前記第2物体との距離を L とし、前記第2物体側の開口数を NA とし、前記第2物体上における最大像高を Y_0 としたとき

$$(\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) < 1.0 \times 10^{-3}$$

$$\lambda < 200 \text{ nm}$$

の条件を満たしていることを特徴とする投影光学系。

【請求項 6】 第 1 物体側から順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群と負の屈折力を有する第 2 レンズ群と正の屈折力を有する第 3 レンズ群とを備え、前記第 1 物体のパターン像を第 2 物体上に形成する投影光学系において、

前記第 2 物体上における最大像高を Y_0 とし、前記第 1 物体と前記第 2 物体との距離を L としたとき、

$$0.014 < Y_0 / L < 0.030$$

の条件を満たしていることを特徴とする投影光学系。

【請求項 7】 前記第 1 物体上における最大物体高を H_0 とするとき、

前記第 1 レンズ群を構成する光学面の総数の 80% 以上の数の光学面が前記最大物体高 H_0 の 1.1 倍よりも大きな有効半径を有し、

前記第 2 レンズ群を構成する光学面の総数の 80% 以上の数の光学面が前記最大物体高 H_0 の 1.1 倍よりも小さな有効半径を有し、

前記第 3 レンズ群を構成する光学面の総数の 70% 以上の数の光学面が前記最大物体高 H_0 の 1.1 倍よりも大きな有効半径を有することを特徴とする請求項 6 に記載の投影光学系。

【請求項 8】 前記第 1 レンズ群は、前記投影光学系に属するレンズ群のうちで最も前記第 1 物体側に配置され、

前記第 3 レンズ群は、前記投影光学系に属するレンズ群のうちで最も前記第 2 物体側に配置されていることを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の投影光学系。

【請求項 9】 前記第 1 物体としてのマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 物体としての感光性基板上に形成するための請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項 10】 前記投影光学系の光軸を横切る方向に関して前記マスクと前記感光性基板とを相対的に静止させた状態で露光を行うことを特徴とする請求項 9 に記載の露光装置。

【請求項 1 1】 前記第 1 物体としてのマスクを照明する照明工程と、請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の投影光学系を介して、前記照明工程により照明された前記マスクのパターンを前記第 2 物体としての感光性基板上に露光する露光工程と、前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項 1 2】 前記露光工程では、前記投影光学系の光軸を横切る方向に関して前記マスクと前記感光性基板とを相対的に静止させた状態で露光を行うことを特徴とする請求項 1 1 に記載のデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、投影光学系、露光装置、およびデバイス製造方法に関し、特に半導体素子や液晶表示素子などのマイクロデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に好適な投影光学系に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

半導体素子等を製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターン像を、投影光学系を介して、レジストの塗布されたウェハ（またはガラスプレート等）上に転写する露光装置が使用されている。この種の露光装置では、半導体集積回路等のパターンの微細化が進むに従って、投影光学系に対する解像力の向上が望まれている。投影光学系の解像力を向上させるには、露光光の波長をより短くするか、あるいは開口数をより大きくすることが考えられる。

【0 0 0 3】

近年、露光光については、水銀ランプの g 線（4 3 6 n m）や i 線（3 6 5 n m）から、より短波長の K r F エキシマレーザ光（2 4 8 n m）や A r F エキシマレーザ光（1 9 3 n m）へ移行しつつある。しかしながら、投影光学系の解像力を向上させるために露光光の短波長化を図ると、投影光学系を構成する光学部材に使用可能な所定の透過率を有する光学材料の種類は限られたものとなり、投影光学系の設計が困難になる。具体的には、K r F エキシマレーザ光や A r F エ

キシマレーザ光を用いる投影光学系では、使用可能な光学材料が実質的には石英や螢石などに限定される。

【0004】

また、投影光学系においては、解像力の向上と共に、像歪の低減に対する要求も一段と厳しくなっている。ここで、像歪とは、投影光学系のディストーション（歪曲収差）に起因する像歪だけではなく、投影光学系の像面に設定されてレチクルパターンが焼き付けられるウェハの反り等に起因する像歪や、投影光学系の物体面に設定されて回路パターン等が描かれているレチクルの反りに起因する像歪がある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

上述のように、従来技術では、転写パターンの微細化に伴って、像歪の低減要求も一段と厳しくなっている。そこで、ウェハの反りの像歪への影響を少なくするために、投影光学系の射出瞳を像面から遠くに位置させる、いわゆる像側にテレセントリックな投影光学系が提案されている。また、レチクルの反りに起因する像歪を軽減するために、投影光学系の入射瞳を物体面から比較的遠くに位置させる提案もなされている。

【0006】

しかしながら、従来技術では、高解像力を有する投影光学系について種々の提案がなされているが、十分に広い実効露光領域（イメージフィールド：結像領域）が確保されていない。このため、レチクルとウェハとを投影光学系に対して相対移動させつつウェハの各露光領域にレチクルパターンを走査露光する、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式の投影露光を行っており、十分に高いスループットを実現することができなかった。このように、高スループットな露光装置を実現するために、ウェハ上においてより広いイメージフィールドを確保すること、すなわち広フィールド化が望まれている。

【0007】

また、上述したように、解像力を向上させるために露光光の短波長化を図ると、投影光学系を構成する光学材料の透過率低下が問題となり、高透過率を確保す

るために使用可能な光学材料の種類も限られたものになる。さらに、透過率の低下は単に光量損失を起こすだけでなく、損失光の一部は光学部材によって吸収され、吸収された光が熱に換わることにより光学部材の屈折率の変化や光学面（レンズ面）の変形を引き起こすため、結果的に投影光学系の結像性能を低下させる要因となる。

【 0 0 0 8 】

また、広フィールド化および高解像力化を図るには収差の補正が必要であるが、限られた種類の光学材料を用いて広い露光領域の全体に亘って収差を補正することは極めて困難である。

【 0 0 0 9 】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、両側にほぼテレセントリックで、十分に大きな開口数および十分に広い結像領域を確保しつつ、ディストーションを含む諸収差が良好に補正された、コンパクトで高性能な投影光学系を提供することを目的とする。

【 0 0 1 0 】

また、本発明は、コンパクトで高性能な投影光学系を用いて、高いスループットおよび高い解像力で良好な投影露光を行うことのできる露光装置を提供することを目的とする。さらに、本発明は、高いスループットおよび高い解像力で良好な投影露光を行うことのできる露光装置を用いて、良好なマイクロデバイスを製造することのできるデバイス製造方法を提供することを目的とする。

【 0 0 1 1 】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、第1物体のパターン像を第2物体上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系は、1.6以下の屈折率を有する光学材料で形成され、前記第1物体側および前記第2物体側の双方に実質的にテレセントリックであり、

光の波長を λ とし、前記第1物体と前記第2物体との距離を L とし、前記第2物体側の開口数を NA とし、前記第2物体上における最大像高を Y_0 としたとき

$$(\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) < 1.5 \times 10^{-3}$$

の条件を満たしていることを特徴とする投影光学系を提供する。

【0012】

第1形態の好ましい態様によれば、前記投影光学系の射出瞳と前記第2物体との距離をEとし、前記第1物体と前記第2物体との距離をLとしたとき、 $E/L > 1.2$ の条件を満たしている。また、前記投影光学系を構成するすべての光学部材が単一種の光学材料で形成されていることが好ましい。さらに、少なくとも1つの光学面が非球面形状に形成されていることが好ましい。

【0013】

本発明の第2形態では、第1物体のパターン像を第2物体上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系は、1.6以下の屈折率を有する光学材料で形成され、前記第1物体側および前記第2物体側の双方に実質的にテレセントリックであり、

少なくとも1つの光学面が非球面形状に形成され、

光の波長を λ とし、前記第1物体と前記第2物体との距離をLとし、前記第2物体側の開口数をNAとし、前記第2物体上における最大像高を Y_0 としたとき

$$(\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) < 1.0 \times 10^{-3}$$

$$\lambda < 200 \text{ nm}$$

の条件を満たしていることを特徴とする投影光学系を提供する。

【0014】

本発明の第3形態では、第1物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と負の屈折力を有する第2レンズ群と正の屈折力を有する第3レンズ群とを備え、前記第1物体のパターン像を第2物体上に形成する投影光学系において、

前記第2物体上における最大像高を Y_0 とし、前記第1物体と前記第2物体との距離をLとしたとき、

$$0.014 < Y_0/L < 0.030$$

の条件を満たしていることを特徴とする投影光学系を提供する。

【0015】

第 3 形態の好ましい態様によれば、前記第 1 物体上における最大物体高を H_0 とするとき、前記第 1 レンズ群を構成する光学面の総数の 80% 以上の数の光学面が前記最大物体高 H_0 の 1.1 倍よりも大きな有効半径を有し、前記第 2 レンズ群を構成する光学面の総数の 80% 以上の数の光学面が前記最大物体高 H_0 の 1.1 倍よりも小さな有効半径を有し、前記第 3 レンズ群を構成する光学面の総数の 70% 以上の数の光学面が前記最大物体高 H_0 の 1.1 倍よりも大きな有効半径を有する。また、前記第 1 レンズ群は、前記投影光学系に属するレンズ群のうちで最も前記第 1 物体側に配置され、前記第 3 レンズ群は、前記投影光学系に属するレンズ群のうちで最も前記第 2 物体側に配置されていることが好ましい。

【 0 0 1 6 】

本発明の第 4 形態では、前記第 1 物体としてのマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 物体としての感光性基板上に形成するための第 1 形態～第 3 形態の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。この場合、前記投影光学系の光軸を横切る方向に関して前記マスクと前記感光性基板とを相対的に静止させた状態で露光を行うことが好ましい。

【 0 0 1 7 】

本発明の第 5 形態では、前記第 1 物体としてのマスクを照明する照明工程と、第 1 形態～第 3 形態の投影光学系を介して、前記照明工程により照明された前記マスクのパターンを前記第 2 物体としての感光性基板上に露光する露光工程と、前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするデバイス製造方法を提供する。この場合、前記露光工程では、前記投影光学系の光軸を横切る方向に関して前記マスクと前記感光性基板とを相対的に静止させた状態で露光を行うことが好ましい。

【 0 0 1 8 】

本発明の第 6 形態では、マスク上のパターンを感光性基板上に投影露光する露光装置であって、前記マスクを照明するための照明系と、前記マスク上の前記パターンの縮小像を前記感光性基板上に形成するための投影光学系とを備え、前記投影光学系は、1.6 以下の屈折率を有する光学材料で形成され、前記マスク側

および前記感光性基板側の双方に実質的にテレセントリックであり、前記照明系からの光の波長を λ とし、前記マスクと前記マスクの像との距離を L とし、前記感光性基板側の開口数を NA とし、前記感光性基板上における最大像高を Y_0 としたとき、

$$(\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) < 1.5 \times 10^{-3}$$

の条件を満足することを特徴とする露光装置を提供する。

【 0 0 1 9 】

本発明の第 7 形態では、マスク上のパターンを感光性基板上に投影露光する露光方法であって、照明系を用いて前記マスクを照明する照明工程と、投影光学系を用いて前記マスク上の前記パターンの縮小像を前記感光性基板上に形成する投影工程とを備え、前記投影光学系は、1.6 以下の屈折率を有する光学材料で形成され、前記マスク側および前記感光性基板側の双方に実質的にテレセントリックであり、前記照明系からの光の波長を λ とし、前記マスクと前記マスクの像との距離を L とし、前記感光性基板側の開口数を NA とし、前記感光性基板上における最大像高を Y_0 としたとき、

$$(\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) < 1.5 \times 10^{-3}$$

の条件を満足することを特徴とする露光装置を提供する。

【 0 0 2 0 】

本発明の第 8 形態では、マスク上のパターンを感光性基板上に投影露光する露光装置であって、前記マスクを照明するための照明系と、前記マスク上の前記パターンの縮小像を前記感光性基板上に形成するための投影光学系とを備え、前記投影光学系は、1.6 以下の屈折率を有する光学材料で形成され、前記マスク側および前記感光性基板側の双方に実質的にテレセントリックであり、少なくとも 1 つの光学面が非球面形状に形成され、前記照明系からの光の波長を λ とし、前記マスクと前記マスクの像との距離を L とし、前記感光性基板側の開口数を NA とし、前記感光性基板上における最大像高を Y_0 としたとき、

$$(\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) < 1.0 \times 10^{-3}$$

$$\lambda < 200 \text{ nm}$$

の条件を満足することを特徴とする露光装置を提供する。

【 0 0 2 1 】

本発明の第 9 形態では、マスク上のパターンを感光性基板上に投影露光する露光方法であって、照明系を用いて前記マスクを照明する照明工程と、投影光学系を用いて前記マスク上の前記パターンの縮小像を前記感光性基板上に形成する投影工程とを備え、前記投影光学系は、1.6 以下の屈折率を有する光学材料で形成され、前記マスク側および前記感光性基板側の双方に実質的にテレセントリックであり、少なくとも 1 つの光学面が非球面形状に形成され、前記照明系からの光の波長を λ とし、前記マスクと前記マスクの像との距離を L とし、前記感光性基板側の開口数を NA とし、前記感光性基板上における最大像高を Y_0 としたとき、

$$(\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) < 1.0 \times 10^{-3}$$

$$\lambda < 200 \text{ nm}$$

の条件を満足することを特徴とする露光装置を提供する。

【 0 0 2 2 】

本発明の第 10 形態では、マスク上のパターンを感光性基板上に投影露光する露光装置であって、第 1 面上に位置決めされた前記マスクを照明するための照明系と、前記マスク上の前記パターンの縮小像を第 2 面上に位置決めされた前記感光性基板上に形成するための投影光学系とを備え、前記投影光学系は、前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて正の屈折力を有する第 1 レンズ群と、前記第 1 レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置されて負の屈折力を有する第 2 レンズ群と、前記第 2 レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置されて正の屈折力を有する第 3 レンズ群とを備え、前記感光性基板上における最大像高を Y_0 とし、前記マスクと前記感光性基板との距離を L としたとき、

$$0.014 < Y_0 / L < 0.030$$

の条件を満足することを特徴とする露光装置を提供する。

【 0 0 2 3 】

本発明の第 11 形態では、マスク上のパターンを感光性基板上に投影露光する露光方法であって、第 1 面上に前記マスクを位置決めする工程と、第 2 面上に前記感光性基板を位置決めする工程と、前記マスクを照明する照明工程と、投影光

学系を用いて前記マスク上の前記パターンの縮小像を前記感光性基板上に形成する投影工程とを備え、前記投影光学系は、前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて正の屈折力を有する第 1 レンズ群と、前記第 1 レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置されて負の屈折力を有する第 2 レンズ群と、前記第 2 レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置されて正の屈折力を有する第 3 レンズ群とを備え、前記感光性基板上における最大像高を Y_0 とし、前記マスクと前記感光性基板との距離を L としたとき、

$$0.014 < Y_0 / L < 0.030$$

の条件を満足することを特徴とする露光方法を提供する。

【0024】

【発明の実施の形態】

本発明の投影光学系は、1.6 以下の屈折率を有する光学材料、すなわち比較的低い屈折率を有する光学材料で形成されているので、短波長の光に対しても高い透過率を確保することができる。また、本発明の投影光学系は、物体側（第 1 物体側）および像側（第 2 物体側）の双方に対してほぼテレセントリックな光学系として構成されているので、第 1 物体側の像歪への影響（露光装置に適用した場合にレチクルの反り等に起因する像歪）や、第 2 物体側の像歪への影響（露光装置に適用した場合にウェハの反り等に起因する像歪）を小さく抑えることができる。

【0025】

本発明の投影光学系では、以下の条件式（1）を満足する。条件式（1）において、 λ は光の波長であり、 L は第 1 物体と第 2 物体との距離である。また、 NA は第 2 物体側の開口数であり、 Y_0 は第 2 物体上における最大像高である。

$$(\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) < 1.5 \times 10^{-3} \quad (1)$$

【0026】

条件式（1）を満足することにより、高い解像力と広い結像領域（収差が所要の状態に補正されている像面上の領域：露光装置に適用した場合には広い露光領域）を確保しながら、コンパクトで高性能な投影光学系を実現することができ、露光装置に搭載することによりスループットの高い投影露光を実現することがで

きる。一方、条件式(1)の上限値を上回ると、解像力や結像領域が不足するか、あるいは実現が困難な巨大な光学系になってしまう。なお、さらに本発明の効果を良好に発揮するには、条件式(1)の上限値を 1.3×10^{-3} に設定することが好ましい。

【0027】

また、本発明の投影光学系においては、以下の条件式(2)を満足することが望ましい。条件式(2)において、Eは投影光学系の射出瞳と第2物体との距離である。

$$E/L > 1.2 \quad (2)$$

【0028】

条件式(2)は、コンパクト性および第2物体側のテレセントリシティを規定する条件式である。ここで、第2物体側のテレセントリシティは、露光装置に搭載された場合には、第1物体側(レチクル側)のテレセントリシティよりも重要である。条件式(2)を満足することにより、コンパクトな光学系でありながら、第2物体側の像歪への影響(露光装置に適用した場合にウェハの反り等に起因する像歪)を実質的に抑えることができる。一方、条件式(2)の下限値を下回ると、第2物体側の像歪への影響が大きくなるか、あるいは実現が困難な巨大な光学系になるため好ましくない。

【0029】

また、本発明の投影光学系では、すべての光学部材が単一種の光学材料で形成されていることが好ましい。この構成により、光学部材の製造コストや製造にかかる負荷を低減することができる。また、すべての光学部材が単一種の光学材料で形成されている投影光学系では、たとえば特開平7-220988号公報に開示されているように、投影光学系の雰囲気気圧が変動した際に、気圧変化による雰囲気気の屈折率の変化を、ひいては気圧変化による収差変動を、光の波長をシフト(変化)させることにより補正することができる。特に、この技術は、特開平11-352012号公報や特開2000-75493号公報に開示されているように、装置を設置する場所が高地である場合等、調整時と使用時とで環境が異なる場合に、単に波長をシフトすることにより収差変動を補正することができ

るという効果を有する。

【0030】

さらに、本発明の投影光学系では、少なくとも1つの光学面が非球面形状に形成されていることが好ましい。このように、光学系に非球面を導入することにより、広い結像領域（露光装置の場合には露光領域）の全体に亘って良好な収差補正を実現することができる。

【0031】

以上のように、本発明では、両側にほぼテレセントリックで、十分に大きな開口数および十分に広い結像領域を確保しつつ、ディストーションを含む諸収差が良好に補正された、コンパクトで高性能な投影光学系を実現することができる。したがって、本発明の投影光学系を搭載した露光装置では、高いスループットおよび高い解像力で良好な投影露光を行うことができ、ひいては高いスループットおよび高い解像力で良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【0032】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の実施形態にかかる投影光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、図1において、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に平行にY軸を、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に垂直にX軸を設定している。

【0033】

図1に示す露光装置は、照明光を供給するための光源LSとして、たとえばKrFエキシマレーザ光源（波長248.4nm）、ArFエキシマレーザ光源（波長193.3nm）またはF₂レーザ光源（波長157.6nm）を備えている。光源LSから射出された光は、照明光学系ILを介して、所定のパターンが形成された投影原版としてのレチクル（マスク）Rを照明する。照明光学系ILは、露光光の照度分布を均一化するためのフライアイレンズ、照明開口絞り、可変視野絞り（レチクルブラインド）、コンデンサレンズ系等から構成されている。

【0034】

レチクルRは、レチクルホルダRHを介して、レチクルステージRS上においてXY平面に平行に保持されている。レチクルステージRSは、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡RMを用いた干渉計RIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。レチクルRに形成されたパターンからの光は、投影光学系PLを介して、フォトレジストの塗布されたウェハW（感光性基板）上にレチクルパターン像を形成する。

【0035】

投影光学系PLは、その瞳位置の近傍に配置された可変の開口絞りAS（図1では不図示）を有し、レチクルR側およびウェハW側の双方において実質的にテレセントリックに構成されている。そして、投影光学系PLの瞳位置には照明光学系の照明瞳面における二次光源の像が形成され、投影光学系PLを介した光によってウェハWがケーラー照明される。ウェハWは、ウェハテーブル（ウェハホルダ）WTを介して、ウェハステージWS上においてXY平面に平行に保持されている。

【0036】

ウェハステージWSは、図示を省略した駆動系の作用によりウェハ面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウェハ移動鏡WMを用いた干渉計WIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。こうして、本実施形態では、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら各露光領域に対してレチクルRのパターンを一括的に露光する動作を繰り返すことにより、すなわちステップ・アンド・リピート方式により、ウェハWの各露光領域にはレチクルRのパターンが逐次露光される。

【0037】

以下、具体的な数値例に基づいて、本実施形態の投影光学系PLの各実施例を説明する。第1実施例～第4実施例において、投影光学系PLを構成するすべてのレンズ成分は石英（ SiO_2 ）で形成されている。第5実施例において、投影光学系PLを構成するレンズ成分は石英または蛍石（ CaF_2 ）で形成されてい

る。第 6 実施例において、投影光学系 P L を構成するすべてのレンズ成分は蛍石で形成されている。第 1 実施例～第 3 実施例では、光源 L S としての K r F エキシマレーザ光源から供給されるレーザ光の中心波長は 2 4 8 . 4 n m であり、この中心波長に対する石英ガラスの屈折率は 1 . 5 0 8 3 9 である。第 4 実施例および第 5 実施例では、光源 L S としての A r F エキシマレーザ光源から供給されるレーザ光の中心波長は 1 9 3 . 3 n m であり、この中心波長に対する石英ガラスの屈折率は 1 . 5 6 0 3 2 6 であり、蛍石の屈折率は 1 . 5 0 1 4 5 5 である。第 6 実施例では、光源 L S としての F₂レーザ光源から供給されるレーザ光の中心波長は 1 5 7 . 6 n m であり、この中心波長に対する蛍石の屈折率は 1 . 5 5 9 3 0 7 である。

【 0 0 3 8 】

また、各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、非球面の頂点における接平面から高さ y における非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を z とし、頂点曲率半径を r とし、円錐係数を κ とし、n 次の非球面係数を C_n としたとき、以下の数式（a）で表される。後述の表（1）～（6）において、非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に * 印を付している。

【 0 0 3 9 】

【数 1】

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2\}^{1/2}] + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} + \dots \quad (a)$$

【 0 0 4 0 】

【第 1 実施例】

図 2 は、第 1 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。図 2 を参照すると、第 1 実施例の投影光学系 P L は、レチクル側から順に、両凸レンズ L 1 と、両凸レンズ L 2 と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズ L 3 と、両凹レンズ L 4 と、両凹レンズ L 5 と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 6 と、両凸レンズ L 7 と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズ L 8 と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズ L 9 と、ウェハ側に非球面形

状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 1 0と、両凹レンズL 1 1と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL 1 2と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 1 3と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 1 4と、開口絞りA Sと、両凸レンズL 1 5と、両凸レンズL 1 6と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 1 7と、両凸レンズL 1 8と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 1 9と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 2 0と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 2 1と、両凹レンズL 2 2と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 2 3とから構成されている。

【 0 0 4 1 】

次の表（1）に、第1実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。表（1）の主要諸元において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率を、NAは像側（ウェハ側）開口数を、 Y_0 は最大像高（イメージフィールド半径）をそれぞれ表している。また、表（1）の光学部材諸元において、面番号はレチクル側からの面の順序を、 r は各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、 d は各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、 n は露光光の中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。上述の表記は、以降の表（2）～（6）においても同様である。

【 0 0 4 2 】

【表1】

（主要諸元）

$$\lambda = 248.4 \text{ nm}$$

$$\beta = -1/4$$

$$\text{NA} = 0.63$$

$$Y_0 = 21.1 \text{ mm}$$

（光学部材諸元）

面番号	r	d	n
-----	-----	-----	-----

（レチクル面）		85.356	
---------	--	--------	--

1	336.044	37.114	1.50839	(L 1)
2	-615.588	1		
3	316.94	33.74	1.50839	(L 2)
4	-989.58	1		
5	359.629	30.296	1.50839	(L 3)
6*	159.197	30.838		
7	-337.919	15	1.50839	(L 4)
8	156.559	49.488		
9	-124.689	15	1.50839	(L 5)
10	1160.675	36.007		
11	-2954.927	51.128	1.50839	(L 6)
12	-209.121	1		
13	2955.769	55.617	1.50839	(L 7)
14	-271.245	1.906		
15	274.463	51.753	1.50839	(L 8)
16	∞	1		
17	324.91	40.148	1.50839	(L 9)
18	∞	1		
19	195.148	28.434	1.50839	(L 1 0)
20*	274.486	31.28		
21	-989.419	15	1.50839	(L 1 1)
22	117.522	43.78		
23	-183.081	15	1.50839	(L 1 2)
24*	257.814	36.097		
25	-136.607	33.693	1.50839	(L 1 3)
26	-3057.785	3.802		
27	-1540.038	47.077	1.50839	(L 1 4)
28	-207.905	10.539		
29	∞	4.66		(A S)

30	2195.041	42.729	1.50839	(L 1 5)
31	-290.604	1		
32	488.043	44.596	1.50839	(L 1 6)
33	-776.102	26.234		
34	-290.901	27.5	1.50839	(L 1 7)
35	-487.976	1.919		
36	478.702	42.713	1.50839	(L 1 8)
37	-1180.716	4.283		
38	295.558	41.897	1.50839	(L 1 9)
39	2379.702	1.727		
40	191.779	40.82	1.50839	(L 2 0)
41	501.27	52.63		
42	271.114	29.675	1.50839	(L 2 1)
43*	966.299	14.707		
44	-1253.623	16.248	1.50839	(L 2 2)
45	87.496	1		
46	70.339	39.582	1.50839	(L 2 3)
47	616.178	12.9803		

(ウェハ面)

(非球面データ)

6 面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= -3.2030 \times 10^{-8} & C_6 &= -1.3280 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= -5.4530 \times 10^{-17} & C_{10} &= 1.8350 \times 10^{-21} \\
 C_{12} &= -4.4290 \times 10^{-25} & C_{14} &= 1.2610 \times 10^{-29}
 \end{aligned}$$

20 面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= -7.2400 \times 10^{-9} & C_6 &= 1.6610 \times 10^{-14} \\ C_8 &= 2.3820 \times 10^{-18} & C_{10} &= -6.9760 \times 10^{-23} \\ C_{12} &= 6.6230 \times 10^{-27} \end{aligned}$$

24面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 4.2380 \times 10^{-8} & C_6 &= -2.3110 \times 10^{-12} \\ C_8 &= -2.6420 \times 10^{-17} & C_{10} &= 4.7740 \times 10^{-21} \end{aligned}$$

43面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 3.6730 \times 10^{-8} & C_6 &= 4.4570 \times 10^{-13} \\ C_8 &= 2.7930 \times 10^{-17} & C_{10} &= -3.3130 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= 4.1110 \times 10^{-25} \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$L = 1249.9933 \text{ mm}$$

$$E = 3220.834 \text{ mm}$$

$$(1) (\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) = 1.107 \times 10^{-3}$$

$$(2) E / L = 2.58$$

【0043】

図3は、第1実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。また、図4は、第1実施例における横収差を示す図である。各収差図において、NAは像側の開口数を、Yは像高(mm)をそれぞれ示している。また、非点収差を示す収差図において、実線はサジタル像面を示し、破線はメリディオナル像面を示している。上述の表記は、以降の図6、図7、図9、図10、図12、図13、図15、図16、および図18においても同様である。各収差図から明らかなように、第1実施例では、NA=0.63という大きな開口数および $Y_0=21.1 \text{ mm}$ という大きな最大像高(ひいては大きなイメージフィールド)

を確保しつつ、歪曲収差を含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。

【0044】

〔第2実施例〕

図5は、第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。図5を参照すると、第2実施例の投影光学系PLは、レチクル側から順に、両凸レンズL1と、両凸レンズL2と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL3と、両凹レンズL4と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL5と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL6と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL7と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL8と、両凸レンズL9と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL10と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL11と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL12と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL13と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL14と、開口絞りASと、両凸レンズL15と、両凸レンズL16と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL17と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL18と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL19と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL20と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL21と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL22と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL23とから構成されている。

【0045】

次の表(2)に、第2実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。

【0046】

【表2】

(主要諸元)

$$\lambda = 248.4 \text{ nm}$$

$$\beta = -1/4$$

$$NA = 0.65$$

$$Y_0 = 21.1 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
(レチクル面)		85.000		
1	370.169	36.976	1.50839	(L 1)
2	-539.027	1		
3	260.614	35.323	1.50839	(L 2)
4	-1805.662	1		
5	237.342	21.572	1.50839	(L 3)
6*	139.323	31.377		
7	-516.888	17	1.50839	(L 4)
8	150	42.425		
9	-147.29	15	1.50839	(L 5)
10*	816.066	35.905		
11	-147.082	27	1.50839	(L 6)
12	-225.4	1		
13	-41392	53.976	1.50839	(L 7)
14	-227.618	1		
15	-8608.53	50.952	1.50839	(L 8)
16	-284.185	1		
17	243.06	59.2	1.50839	(L 9)
18	-37613.5	1		
19	203.88	49.991	1.50839	(L 1 0)
20	1553.442	32.55		
21	-1036.807	17	1.50839	(L 1 1)
22*	148.605	42.594		
23	-191.614	15	1.50839	(L 1 2)
24*	189.595	41.625		
25	-146.676	18.454	1.50839	(L 1 3)

26	-1600.717	18.651		
27*	-759.531	35.576	1.50839	(L 1 4)
28	-211.058	10.001		
29	∞	7.194		(A S)
30	2974.88	48.903	1.50839	(L 1 5)
31	-260.354	1		
32	533.226	51.054	1.50839	(L 1 6)
33	-497.281	16.334		
34	-297.478	28	1.50839	(L 1 7)
35	-410.191	6.962		
36	432.489	35.698	1.50839	(L 1 8)
37	5542.48	1		
38	339.32	38.398	1.50839	(L 1 9)
39	2529.767	1.073		
40	205.053	40.997	1.50839	(L 2 0)
41	570.26	44.016		
42	526.794	28.369	1.50839	(L 2 1)
43*	999.637	7.316		
44	363.9	26.929	1.50839	(L 2 2)
45	80.011	6.368		
46	68.127	47.548	1.50839	(L 2 3)
47	333.792	13.6933		

(ウェハ面)

(非球面データ)

6 面

$\kappa = 0$

$$C_4 = -2.5830 \times 10^{-8} \quad C_6 = -1.4132 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -7.1032 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 9.7808 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = -3.4814 \times 10^{-25}$$

10面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -5.2948 \times 10^{-9} & C_6 &= 1.6031 \times 10^{-12} \\ C_8 &= -4.1130 \times 10^{-17} & C_{10} &= -5.8947 \times 10^{-22} \\ C_{12} &= 3.0968 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

22面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 3.2206 \times 10^{-8} & C_6 &= 1.8939 \times 10^{-12} \\ C_8 &= 9.9966 \times 10^{-17} & C_{10} &= 2.8187 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= 4.7609 \times 10^{-25} \end{aligned}$$

24面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 3.8141 \times 10^{-8} & C_6 &= -3.4162 \times 10^{-12} \\ C_8 &= 1.2024 \times 10^{-19} & C_{10} &= 9.9690 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -2.2108 \times 10^{-25} \end{aligned}$$

27面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 1.2927 \times 10^{-9} & C_6 &= 1.7523 \times 10^{-13} \\ C_8 &= 3.6435 \times 10^{-18} & C_{10} &= 1.1104 \times 10^{-22} \\ C_{12} &= 1.0330 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

43面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 2.3875 \times 10^{-8} \quad C_6 = 1.3965 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -4.3074 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 3.1012 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -1.9832 \times 10^{-26}$$

(条件式対応値)

$$L = 1250.0003 \text{ mm}$$

$$E = 2913.034 \text{ mm}$$

$$(1) (\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) = 1.073 \times 10^{-3}$$

$$(2) E / L = 2.33$$

【0047】

図6は、第2実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。また、図7は、第2実施例における横収差を示す図である。各収差図から明らかのように、第2実施例では、 $NA = 0.65$ という大きな開口数および $Y_0 = 21.1 \text{ mm}$ という大きな最大像高（ひいては大きなイメージフィールド）を確保しつつ、歪曲収差を含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。

【0048】

[第3実施例]

図8は、第3実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。図8を参照すると、第3実施例の投影光学系PLは、レチクル側から順に、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL1と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL2と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL3と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL4と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL5と、両凸レンズL6と、両凸レンズL7と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL8と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL9と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL10と、両凹レンズL11と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL12と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL13と、両凸レンズL14と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL15と、開口絞りASと、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL16と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL17と、レチクル側に凸面を向けた

正メニスカスレンズL 1 8と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 1 9と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた平凹レンズL 2 0と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL 2 1と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 2 2とから構成されている。

【 0 0 4 9 】

次の表（3）に、第3実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。なお、表（3）の主要諸元において H_0 は最大物体高であり、表（3）の光学部材諸元において ϕ は各面の有効半径（mm）である。

【 0 0 5 0 】

【表 3】

（主要諸元）

$$\lambda = 248.4 \text{ nm}$$

$$\beta = -1/4$$

$$NA = 0.68$$

$$Y_0 = 21.1 \text{ mm}$$

$$H_0 = 84.4 \text{ mm}$$

（光学部材諸元）

面番号	r	d	n	ϕ	
（レチクル面）		75.474			
1	231.822	38.045	1.50839	101.520	（L 1）
2*	199.861	47.864		99.455	
3*	-374.56	14	1.50839	100.413	（L 2）
4	1087.945	57.682		109.753	
5	-3912.276	42.876	1.50839	132.707	（L 3）
6	-277.623	1		135.647	
7	-975.662	34.107	1.50839	140.410	（L 4）
8	-310	4.545		142.068	
9	460.296	31.573	1.50839	142.104	（L 5）

10	13824.8	1		141.047	
11	345.841	39.937	1.50839	136.553	(L 6)
12	-4264.05	1		134.154	
13	256.582	42.585	1.50839	120.583	(L 7)
14	-2435.28	1		116.222	
15	557.373	14	1.50839	104.606	(L 8)
16*	157.296	15.308		85.859	
17	246.555	33.989	1.50839	84.985	(L 9)
18*	111.492	37.164		68.319	
19	-155.285	14	1.50839	67.684	(L 1 0)
20*	158.037	45.453		65.479	
21	-90.143	14.012	1.50839	65.860	(L 1 1)
22	1112.61	37.578		86.117	
23	-641.094	41.361	1.50839	107.984	(L 1 2)
24	-178.026	1		113.521	
25	-1135.282	38.98	1.50839	129.498	(L 1 3)
26	-257.706	1		132.719	
27	4389.8	38.124	1.50839	141.281	(L 1 4)
28	-399.252	1		142.508	
29	349.711	27.065	1.50839	142.696	(L 1 5)
30	683.493	70.062		141.251	
31	∞	107.614		138.646	(A S)
32	441.733	30	1.50839	142.714	(L 1 6)
33	3010.506	1		141.924	
34	259.936	35.745	1.50839	138.201	(L 1 7)
35	683.423	1		135.649	
36	220.377	33.003	1.50839	127.270	(L 1 8)
37	452.009	1		123.157	
38	177.601	39.097	1.50839	111.415	(L 1 9)

39	575.408	20.306		105.670	
40	∞	16	1.50839	96.125	(L 2 0)
41*	844.277	40.65		85.670	
42	1622.9	14	1.50839	58.186	(L 2 1)
43*	134.25	1		48.308	
44	71.19	29.261	1.50839	44.506	(L 2 2)
45	232.287	17.5256		34.911	

(ウェハ面)

(非球面データ)

2 面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -4.1502 \times 10^{-8} & C_6 &= 2.9831 \times 10^{-13} \\ C_8 &= 2.2965 \times 10^{-17} & C_{10} &= -3.3074 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= 3.0534 \times 10^{-25} & C_{14} &= -1.5922 \times 10^{-29} \\ C_{16} &= 2.5895 \times 10^{-34} \end{aligned}$$

3 面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -4.1155 \times 10^{-8} & C_6 &= -4.2875 \times 10^{-13} \\ C_8 &= 1.1750 \times 10^{-17} & C_{10} &= 4.8956 \times 10^{-22} \\ C_{12} &= -2.2368 \times 10^{-25} & C_{14} &= 2.0569 \times 10^{-29} \\ C_{16} &= -8.3869 \times 10^{-34} \end{aligned}$$

1 6 面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 4.4486 \times 10^{-8} & C_6 &= -2.9141 \times 10^{-15} \\ C_8 &= 1.2928 \times 10^{-16} & C_{10} &= 5.2310 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= 2.7283 \times 10^{-25} & C_{14} &= 5.4172 \times 10^{-29} \end{aligned}$$

$$C_{16} = 5.5839 \times 10^{-34}$$

18面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -1.3891 \times 10^{-7} & C_6 &= -3.0973 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -3.9700 \times 10^{-16} & C_{10} &= -7.9024 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= 7.8062 \times 10^{-24} & C_{14} &= -3.0617 \times 10^{-27} \\ C_{16} &= 2.0719 \times 10^{-31} \end{aligned}$$

20面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 4.8876 \times 10^{-8} & C_6 &= -6.8085 \times 10^{-12} \\ C_8 &= 5.9452 \times 10^{-16} & C_{10} &= 1.7262 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= 8.4920 \times 10^{-24} & C_{14} &= -1.3744 \times 10^{-27} \\ C_{16} &= 8.9638 \times 10^{-32} \end{aligned}$$

41面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 1.1607 \times 10^{-8} & C_6 &= 4.3405 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -8.0755 \times 10^{-17} & C_{10} &= 6.3294 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -3.8914 \times 10^{-25} & C_{14} &= 2.0077 \times 10^{-29} \\ C_{16} &= -5.3721 \times 10^{-34} \end{aligned}$$

43面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 3.3236 \times 10^{-8} & C_6 &= -1.4246 \times 10^{-11} \\ C_8 &= -1.2965 \times 10^{-15} & C_{10} &= -2.1005 \times 10^{-19} \\ C_{12} &= 5.6985 \times 10^{-24} & C_{14} &= 4.4185 \times 10^{-27} \\ C_{16} &= -1.6556 \times 10^{-31} \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$L = 1249.9856 \text{ mm}$$

$$E = 1644.276 \text{ mm}$$

$$(1) (\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) = 1.026 \times 10^{-3}$$

$$(2) E / L = 1.32$$

【0051】

図9は、第3実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。また、図10は、第3実施例における横収差を示す図である。各収差図から明らかなように、第3実施例では、 $NA = 0.68$ という大きな開口数および $Y_0 = 21.1 \text{ mm}$ という大きな最大像高（ひいては大きなイメージフィールド）を確保しつつ、歪曲収差を含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。

【0052】

以上のように、第1実施例～第3実施例にかかる投影光学系PLは、1.6以下の屈折率を有する光学材料で形成され、物体側および像側の双方に実質的にテレセントリックであり、 $(\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) < 1.5 \times 10^{-3}$ の条件を満たしているので、十分に大きな開口数および十分に広い結像領域を確保しつつ、ディストーションを含む諸収差が良好に補正され、コンパクトで高性能な光学系になっている。

【0053】

[第4実施例]

図11は、第4実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。図11を参照すると、第4実施例の投影光学系PLは、レチクル側から順に、両凸レンズL1と、両凸レンズL2と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL3と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL4と、両凹レンズL5と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL6と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL7と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL8と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL9と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL10と、レチクル側

に凸面を向けた正メニスカスレンズL 1 1 と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 1 2 と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL 1 3 と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL 1 4 と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 1 5 と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 1 6 と、開口絞りA S と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 1 7 と、両凸レンズL 1 8 と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 1 9 と、両凸レンズL 2 0 と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 2 1 と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 2 2 と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 2 3 と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 2 4 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 2 5 とから構成されている。

【 0 0 5 4 】

第4 実施例では、すべてのレンズが石英で形成されている。次の表（4）に、第4 実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。

【 0 0 5 5 】

【表 4】

（主要諸元）

$$\lambda = 193.3 \text{ nm}$$

$$\beta = -1/4$$

$$NA = 0.70$$

$$Y_0 = 21.1 \text{ mm}$$

（光学部材諸元）

面番号	r	d	n	
（レチクル面）				
		55.977		
1	236.375	36.708	1.560326	（L 1）
2	-1326.857	1.000		
3	305.858	27.807	1.560326	（L 2）
4	-4988.919	1.000		

5	478.298	13.000	1.560326	(L 3)
6*	216.036	3.877		
7	246.432	13.000	1.560326	(L 4)
8	142.617	42.514		
9	-176.904	13.000	1.560326	(L 5)
10	212.782	47.102		
11	-134.266	13.000	1.560326	(L 6)
12	-276.220	1.000		
13*	-312.207	13.000	1.560326	(L 7)
14	-305.626	13.453		
15	-3214.315	61.536	1.560326	(L 8)
16	-190.911	1.316		
17	-837.247	37.999	1.560326	(L 9)
18	-291.832	27.817		
19	266.829	52.664	1.560326	(L 1 0)
20	11121.118	1.000		
21	200.702	52.406	1.560326	(L 1 1)
22	2260.973	10.960		
23	386.778	13.004	1.560326	(L 1 2)
24	152.011	41.781		
25*	-300.824	13.000	1.560326	(L 1 3)
26	156.593	35.070		
27*	-262.372	13.046	1.560326	(L 1 4)
28	282.691	39.674		
29	-152.110	33.875	1.560326	(L 1 5)
30	-205.290	13.000		
31*	-946.981	39.169	1.560326	(L 1 6)
32	-230.012	8.000		
33	∞	8.067		(A S)

34	-1744.140	47.891	1.560326	(L 1 7)
35	-245.859	6.842		
36	445.398	57.580	1.560326	(L 1 8)
37	-411.974	13.000		
38	-300.000	27.000	1.560326	(L 1 9)
39	-1310.387	1.038		
40	629.495	46.394	1.560326	(L 2 0)
41	-1301.217	1.133		
42	300.000	41.497	1.560326	(L 2 1)
43*	572.761	1.032		
44	197.744	36.450	1.560326	(L 2 2)
45*	546.586	1.000		
46	283.437	13.000	1.560326	(L 2 3)
47	108.534	20.411		
48	177.134	55.444	1.560326	(L 2 4)
49	123.882	1.000		
50	78.959	67.373	1.560326	(L 2 5)
51	482.436	13.094		

(ウエハ面)

(非球面データ)

6 面

$\kappa = 0$

$$C_4 = -0.390730 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.277980 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 0.448296 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.142951 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = -0.200639 \times 10^{-24}$$

1 3 面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.234706 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.309208 \times 10^{-12} \\ C_8 &= -0.917319 \times 10^{-17} & C_{10} &= -0.195900 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -0.149005 \times 10^{-25} \end{aligned}$$

25面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.436112 \times 10^{-7} & C_6 &= 0.388626 \times 10^{-11} \\ C_8 &= -0.127775 \times 10^{-15} & C_{10} &= 0.347307 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= -0.812555 \times 10^{-25} \end{aligned}$$

27面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.359877 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.413098 \times 10^{-11} \\ C_8 &= 0.274168 \times 10^{-16} & C_{10} &= -0.544566 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= -0.351659 \times 10^{-24} \end{aligned}$$

31面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.781880 \times 10^{-8} & C_6 &= 0.625582 \times 10^{-12} \\ C_8 &= -0.767116 \times 10^{-17} & C_{10} &= 0.242844 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -0.585103 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

43面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.480511 \times 10^{-8} & C_6 &= -0.424626 \times 10^{-14} \\ C_8 &= -0.773379 \times 10^{-17} & C_{10} &= -0.156710 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= 0.781612 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

45面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.126619 \times 10^{-7} & C_6 &= 0.111075 \times 10^{-11} \\ C_8 &= -0.315462 \times 10^{-17} & C_{10} &= -0.234952 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= 0.165000 \times 10^{-25} \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$L = 1250.00 \text{ mm}$$

$$(3) (\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) = 0.775 \times 10^{-3}$$

【0056】

図12は、第4実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。また、図13は、第4実施例における横収差を示す図である。各収差図から明らかなように、第4実施例では、 $NA = 0.70$ という大きな開口数および $Y_0 = 21.1 \text{ mm}$ という大きな最大像高（ひいては大きなイメージフィールド）を確保しつつ、歪曲収差を含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。

【0057】

[第5実施例]

図14は、第5実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。図14を参照すると、第5実施例の投影光学系PLは、レチクル側から順に、両凸レンズL1と、両凸レンズL2と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL3と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL4と、両凹レンズL5と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL6と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL7と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL8と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL9と、両凸レンズL10と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL11と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL12と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL13と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL14と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL15と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL16と、開口絞りASと、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL17と、両

凸レンズL 1 8 と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 1 9 と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 2 0 と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 2 1 と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 2 2 と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 2 3 と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 2 4 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 2 5 とから構成されている。

【 0 0 5 8 】

第5実施例では、レンズL 1 1, L 1 6, L 2 4 およびL 2 5 が蛍石で形成され、他のレンズは石英で形成されている。次の表(5)に、第5実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。

【 0 0 5 9 】

【表5】

(主要諸元)

$$\lambda = 193.3 \text{ nm}$$

$$\beta = -1/4$$

$$NA = 0.70$$

$$Y_0 = 21.1 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

(レチクル面)		51.000		
1	213.222	38.539	1.560326	(L 1)
2	-1490.368	1.000		
3	438.510	22.960	1.560326	(L 2)
4	-5521.851	1.000		
5	333.571	13.000	1.560326	(L 3)
6*	177.450	4.161		
7	199.366	13.275	1.560326	(L 4)
8	138.570	44.632		
9	-161.840	13.000	1.560326	(L 5)

10	223.766	44.902		
11	-143.814	13.000	1.560326	(L 6)
12	-298.377	1.704		
13*	-334.582	13.000	1.560326	(L 7)
14	-334.916	11.743		
15	-4047.282	57.701	1.560326	(L 8)
16	-201.085	1.000		
17	-1435.546	40.566	1.560326	(L 9)
18	-302.600	21.438		
19	262.122	54.652	1.560326	(L 1 0)
20	-11336.582	1.000		
21	196.075	53.198	1.501455	(L 1 1)
22	3379.244	10.470		
23	369.741	13.000	1.560326	(L 1 2)
24	153.333	40.357		
25*	-303.585	13.000	1.560326	(L 1 3)
26	159.474	35.089		
27*	-234.626	13.000	1.560326	(L 1 4)
28	270.159	38.992		
29	-165.469	35.787	1.560326	(L 1 5)
30	-196.726	13.000		
31*	-735.265	37.631	1.501455	(L 1 6)
32	-216.484	8.000		
33	∞	8.000		(A S)
34	-2040.786	53.321	1.560326	(L 1 7)
35	-225.458	6.842		
36	552.343	57.580	1.560326	(L 1 8)
37	-414.088	13.000		
38	-300.000	27.000	1.560326	(L 1 9)

39	-1036.554	16.153		
40	-1325.080	46.394	1.560326	(L 2 0)
41	-376.256	1.000		
42	300.000	41.497	1.560326	(L 2 1)
43*	454.030	1.000		
44	185.557	48.502	1.560326	(L 2 2)
45*	970.728	1.204		
46	374.033	20.165	1.560326	(L 2 3)
47	120.058	9.825		
48	144.788	48.299	1.501455	(L 2 4)
49	100.193	1.000		
50	74.978	63.000	1.501455	(L 2 5)
51	412.784	11.422		

(ウェハ面)

(非球面データ)

6 面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.340666 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.320328 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -0.886363 \times 10^{-17} & C_{10} &= 0.377243 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= -0.403299 \times 10^{-24} \end{aligned}$$

13 面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.115164 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.129368 \times 10^{-12} \\ C_8 &= 0.153108 \times 10^{-17} & C_{10} &= -0.400820 \times 10^{-22} \\ C_{12} &= 0.893904 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

25 面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.610648 \times 10^{-7} & C_6 &= 0.525010 \times 10^{-11} \\ C_8 &= -0.504609 \times 10^{-16} & C_{10} &= -0.696687 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= 0.272899 \times 10^{-24} \end{aligned}$$

27面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.558894 \times 10^{-7} & C_6 &= -0.492800 \times 10^{-11} \\ C_8 &= -0.480602 \times 10^{-16} & C_{10} &= -0.623444 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= -0.711183 \times 10^{-24} \end{aligned}$$

31面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.119246 \times 10^{-7} & C_6 &= 0.435184 \times 10^{-12} \\ C_8 &= -0.397771 \times 10^{-17} & C_{10} &= 0.205602 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -0.942057 \times 10^{-27} \end{aligned}$$

43面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.105535 \times 10^{-8} & C_6 &= -0.924566 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -0.240759 \times 10^{-17} & C_{10} &= -0.153687 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= 0.590155 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

45面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -0.108578 \times 10^{-7} & C_6 &= 0.130055 \times 10^{-11} \\ C_8 &= -0.312792 \times 10^{-16} & C_{10} &= 0.526315 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -0.463864 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$L = 1250.00 \text{ mm}$$

$$(3) \quad (\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) = 0.775 \times 10^{-3}$$

【0060】

図15は、第5実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。また、図16は、第5実施例における横収差を示す図である。各収差図から明らかなように、第5実施例では、 $NA = 0.70$ という大きな開口数および $Y_0 = 21.1 \text{ mm}$ という大きな最大像高（ひいては大きなイメージフィールド）を確保しつつ、歪曲収差を含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。

【0061】

以上のように、第4実施例および第5実施例にかかる投影光学系PLは、1.6以下の屈折率を有する光学材料で形成され、物体側および像側の双方に実質的にテレセントリックであり、7つの光学面が非球面形状に形成され、

$$(\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) < 1.0 \times 10^{-3} \quad (3)$$

$$\lambda < 200 \text{ nm} \quad (4)$$

の条件を満たしている。

【0062】

第4実施例および第5実施例では、条件式(3)を満足することにより、高い解像力および広い視野を確保しつつ（十分に大きな開口数および十分に広い結像領域を確保しつつ）、コンパクトな光学系を得ることができ、露光装置に用いた場合に高いスループットを実現することができる。具体的には、条件式(3)の上限値を上回ると、解像力、結像領域（露光領域）、および光学系の大きさのうち少なくとも1つの点について十分に好ましい構成を得ることができなくなる。なお、さらに本発明の効果を良好に発揮するには、条件式(3)の上限値を 0.9×10^{-3} に設定することが好ましい。また、条件式(4)を満足することにより、投影光学系PLの解像力を向上させることができる。

【0063】

[第6実施例]

図17は、第6実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。図1

7を参照すると、第6実施例の投影光学系PLは、レチクル側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、負の屈折力を有する第2レンズ群G2と、正の屈折力を有する第3レンズ群G3とにより構成されている。第1レンズ群G1は、レチクル側から順に、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた正メニスカスレンズL11と、両凹レンズL12と、両凸レンズL13と、両凸レンズL14と、両凸レンズL15と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL16とにより構成されている。

【0064】

第2レンズ群G2は、レチクル側から順に、両凹レンズL21と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL22と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL23と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL24とにより構成されている。第3レンズ群G3は、レチクル側から順に、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL31と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL32と、両凸レンズL33と、両凸レンズL34と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL35と、両凹レンズL36と、開口絞りASと、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL37と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL38と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL39と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL310と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL311と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL312とにより構成されている。

【0065】

第6実施例では、すべてのレンズが蛍石で形成されている。次の表(6)に、第6実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。なお、表(6)の主要諸元において H_0 は最大物体高であり、表(6)の光学部材諸元において ϕ は各面の有効半径(mm)である。

【0066】

【表6】

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = -1/4$$

$$NA = 0.7$$

$$Y_0 = 21.1 \text{ mm}$$

$$H_0 = 84.4 \text{ mm} \quad (1.1 \times H_0 = 92.84 \text{ mm})$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	ϕ	
(レチクル面)		55.2615			
1*	203.0634	22.9288	1.559307	99.54	(L 1 1)
2	199.9239	49.3188		97.11	
3	-215.7324	15.0000	1.559307	97.23	(L 1 2)
4	371.7575	27.3186		111.12	
5	912.6283	57.3547	1.559307	125.57	(L 1 3)
6	-247.8085	1.0000		129.74	
7	558.9117	46.7777	1.559307	141.57	(L 1 4)
8	-617.4656	1.0000		142.00	
9	381.3538	40.1313	1.559307	138.61	(L 1 5)
10	-4542.9083	1.0000		136.37	
11	309.0622	37.6538	1.559307	126.73	(L 1 6)
12*	1204.4275	69.8932		122.36	
13	-1083.2138	15.0000	1.559307	78.60	(L 2 1)
14	319.4939	20.2882		69.77	
15*	-212.9218	15.0000	1.559307	69.35	(L 2 2)
16	235.9633	22.7588		65.05	
17	-173.8754	17.2332	1.559307	65.02	(L 2 3)
18	-1383.3104	33.4159		68.51	
19	-86.1837	29.5290	1.559307	68.68	(L 2 4)
20	-2785.7548	5.6339		99.77	

21*	-1834.5258	41.1324	1.559307	100.69	(L 3 1)
22	-181.3765	1.0000		107.86	
23	-983.0929	35.5918	1.559307	122.98	(L 3 2)
24	-274.7538	1.0000		127.38	
25	675.8655	45.6297	1.559307	140.85	(L 3 3)
26	-545.9503	1.0000		142.00	
27	1037.0836	45.9523	1.559307	142.00	(L 3 4)
28	-425.4880	10.1195		141.41	
29*	-344.4867	24.0000	1.559307	141.11	(L 3 5)
30	-309.3445	13.2895		141.60	
31	-571.2625	24.1060	1.559307	132.46	(L 3 6)
32	642.3624	14.0052		128.37	
33	∞	85.5617		128.44	(A S)
34	382.7332	30.9825	1.559307	142.00	(L 3 7)
35	1205.5311	45.9745		141.54	
36	264.7526	45.6332	1.559307	142.00	(L 3 8)
37	1271.1254	1.8488		139.42	
38	221.5366	36.3877	1.559307	129.51	(L 3 9)
39	453.4555	1.6413		124.45	
40	176.9154	38.1695	1.559307	112.16	(L 3 1 0)
41*	534.2537	71.1243		104.85	
42	132.3848	17.7337	1.559307	50.93	(L 3 1 1)
43*	185.7697	9.6193		43.19	
44	-597.7757	15.0000	1.559307	38.95	(L 3 1 2)
45	-3757.7443	10.0000		30.99	

(ウエハ面)

(非球面データ)

1 面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= 2.71565 \times 10^{-8} & C_6 &= -7.39567 \times 10^{-13} \\ C_8 &= 2.31594 \times 10^{-17} & C_{10} &= 4.45225 \times 10^{-22} \\ C_{12} &= -7.18557 \times 10^{-26} & C_{14} &= 3.76048 \times 10^{-30} \end{aligned}$$

12面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= -2.34467 \times 10^{-8} & C_6 &= -3.72976 \times 10^{-14} \\ C_8 &= 1.30251 \times 10^{-17} & C_{10} &= 2.97746 \times 10^{-22} \\ C_{12} &= -2.33469 \times 10^{-26} & C_{14} &= 3.52366 \times 10^{-31} \end{aligned}$$

15面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= -2.26925 \times 10^{-8} & C_6 &= 2.75024 \times 10^{-12} \\ C_8 &= 3.94054 \times 10^{-16} & C_{10} &= 2.49115 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= -2.78491 \times 10^{-24} & C_{14} &= 2.20171 \times 10^{-28} \end{aligned}$$

21面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= -3.82569 \times 10^{-8} & C_6 &= 7.26765 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -5.48081 \times 10^{-17} & C_{10} &= 1.67564 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -7.84329 \times 10^{-26} & C_{14} &= 3.45289 \times 10^{-31} \end{aligned}$$

29面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= -8.51910 \times 10^{-9} & C_6 &= 6.22456 \times 10^{-14} \\ C_8 &= -1.06075 \times 10^{-18} & C_{10} &= -1.48912 \times 10^{-23} \\ C_{12} &= 3.08241 \times 10^{-28} & C_{14} &= 6.15126 \times 10^{-34} \end{aligned}$$

4 1 面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 2.99126 \times 10^{-8} & C_6 &= -2.08080 \times 10^{-13} \\ C_8 &= 1.23353 \times 10^{-17} & C_{10} &= 9.39268 \times 10^{-23} \\ C_{12} &= -3.49001 \times 10^{-27} & C_{14} &= 4.33883 \times 10^{-31} \end{aligned}$$

4 3 面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -1.36725 \times 10^{-7} & C_6 &= -1.96775 \times 10^{-11} \\ C_8 &= -2.82153 \times 10^{-15} & C_{10} &= -1.38257 \times 10^{-19} \\ C_{12} &= 1.66066 \times 10^{-22} & C_{14} &= -1.34566 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$L = 1250.0003 \text{ mm}$$

$$(5) Y_0 / L = 0.01688$$

【0067】

図18は、第6実施例における横収差を示す図である。各収差図から明らかなように、第6実施例では、 $NA = 0.70$ という大きな開口数および $Y_0 = 21.1 \text{ mm}$ という大きな最大像高（ひいては大きなイメージフィールド）を確保しつつ、歪曲収差を含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。

【0068】

以上のように、第6実施例にかかる投影光学系PLは、レチクル側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、負の屈折力を有する第2レンズ群G2と、正の屈折力を有する第3レンズ群G3とにより構成され、

$$0.014 < Y_0 / L < 0.030 \quad (5)$$

の条件を満たしている。

【0069】

従来、ステップ・アンド・スキャン方式に用いられる、条件式(5)を満足するような広い露光領域（結像領域）を有する投影光学系は、正負正負正の屈折力

配置を有する 5 群構成を採用していた。しかしながら、第 6 実施例では、正負正の屈折力配置を有する 3 群構成を採用することにより、構成要素数を大幅に削減し、製造コストを削減するとともに、要素単体の誤差による結像性能の劣化を防ぐことができる。条件式 (5) の上限値を上回ると結像領域の全体に亘って収差補正を良好に行うことが困難になり、下限値を下回ると投影光学系が大型化して製造が困難になってしまう。なお、さらに本発明の効果を良好に発揮するには、条件式 (5) の上限値を 0.025 に設定し、下限値を 0.015 に設定することが好ましい。

【0070】

また、第 6 実施例では、第 1 レンズ群 G1 を構成するすべての光学面の総数 (= 12) の 80% 以上の数 (12 : 100%) の光学面が最大物体高 H_0 の 1.1 倍よりも大きな有効半径を有し、第 2 レンズ群 G2 を構成する光学面の総数 (= 8) の 80% 以上の数 (7 : 87.5%) の光学面が最大物体高 H_0 の 1.1 倍よりも小さな有効半径を有し、第 3 レンズ群 G3 を構成する光学面の総数 (= 24) の 70% 以上の数 (20 : 83.3%) の光学面が最大物体高 H_0 の 1.1 倍よりも大きな有効半径を有する。この構成により、第 6 実施例では、3 群構成でありながらペッツバル和を 0 に近づけて像面湾曲を良好に補正することができる。

【0071】

ところで、前述の第 3 実施例においても、レンズ L1 ~ L7 が正の屈折力を有する第 1 レンズ群 G1 を構成し、レンズ L8 ~ L11 が負の屈折力を有する第 2 レンズ群 G2 を構成し、レンズ L12 ~ L22 が正の屈折力を有する第 3 レンズ群 G3 を構成している。また、第 3 実施例では、 $Y_0/L = 21.1/1249.9856 = 0.01688$ であり、条件式 (5) を満足している。

【0072】

また、第 3 実施例では、第 1 レンズ群 G1 を構成するすべての光学面の総数 (= 14) の 80% 以上の数 (14 : 100%) の光学面が最大物体高 H_0 の 1.1 倍よりも大きな有効半径を有し、第 2 レンズ群 G2 を構成する光学面の総数 (= 8) の 80% 以上の数 (7 : 87.5%) の光学面が最大物体高 H_0 の 1.1

倍よりも小さな有効半径を有し、第3レンズ群G3を構成する光学面の総数(=22)の70%以上の数(17:77.3%)の光学面が最大物体高 H_0 の1.1倍よりも大きな有効半径を有する。こうして、第3実施例においても、第6実施例の上述の効果を得ることができる。

【0073】

上述の実施形態の露光装置では、照明系によってレチクル(マスク)を照明し(照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図19のフローチャートを参照して説明する。

【0074】

先ず、図19のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。

【0075】

その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ301～ステップ305では、ウェハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウェハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そ

のシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

【 0 0 7 6 】

また、本実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図 2 0 のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図 2 0 において、パターン形成工程 4 0 1 では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程 4 0 2 へ移行する。

【 0 0 7 7 】

次に、カラーフィルター形成工程 4 0 2 では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した 3 つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、または R、G、B の 3 本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程 4 0 2 の後に、セル組み立て工程 4 0 3 が実行される。セル組み立て工程 4 0 3 では、パターン形成工程 4 0 1 にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程 4 0 2 にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程 4 0 3 では、例えば、パターン形成工程 4 0 1 にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程 4 0 2 にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【 0 0 7 8 】

その後、モジュール組み立て工程 4 0 4 にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて

液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【 0 0 7 9 】

なお、上述の実施形態では、ウェハWの各露光領域に対してレチクルRのパターンを一括的に露光するステップ・アンド・リピート方式の露光装置に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、ウェハWとレチクルRとを投影光学系PLに対して相対移動させつつウェハWの各露光領域に対してレチクルRのパターンを走査露光するステップ・アンド・スキャン方式の露光装置に本発明を適用することもできる。

【 0 0 8 0 】

また、上述の実施形態では、248.4nmの波長光を供給するKrFエキシマレーザー光源、193.3nmの波長光を供給するArFエキシマレーザー光源、または157.6nmの波長光を供給するF₂レーザー光源を用いているが、これに限定されることなく、他の適当な光源に対して本発明を適用することもできる。

【 0 0 8 1 】

さらに、上述の実施形態では、露光装置に搭載される投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な投影光学系に対して本発明を適用することもできる。

【 0 0 8 2 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、両側にほぼテレセントリックで、十分に大きな開口数および十分に広い結像領域を確保しつつ、ディストーションを含む諸収差が良好に補正された、コンパクトで高性能な投影光学系を実現することができる。したがって、本発明の投影光学系を搭載した露光装置では、レチクルやウェハの反り等に起因する像歪を抑えて、高いスループットおよび高い解像力で良好な投影露光を行うことができ、ひいては高いスループットおよび高い解像力で良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施形態にかかる投影光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】

第 1 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図 3】

第 1 実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。

【図 4】

第 1 実施例における横収差を示す図である。

【図 5】

第 2 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図 6】

第 2 実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。

【図 7】

第 2 実施例における横収差を示す図である。

【図 8】

第 3 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図 9】

第 3 実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。

【図 1 0】

第 3 実施例における横収差を示す図である。

【図 1 1】

第 4 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図 1 2】

第 4 実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。

【図 1 3】

第 4 実施例における横収差を示す図である。

【図 1 4】

第 5 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図 1 5】

第 5 実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。

【図 1 6】

第 5 実施例における横収差を示す図である。

【図 1 7】

第 6 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図 1 8】

第 6 実施例における横収差を示す図である。

【図 1 9】

マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

【図 2 0】

マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

【符号の説明】

L S 光源

I L 照明光学系

R レチクル

R S レチクルステージ

P L 投影光学系

W ウェハ

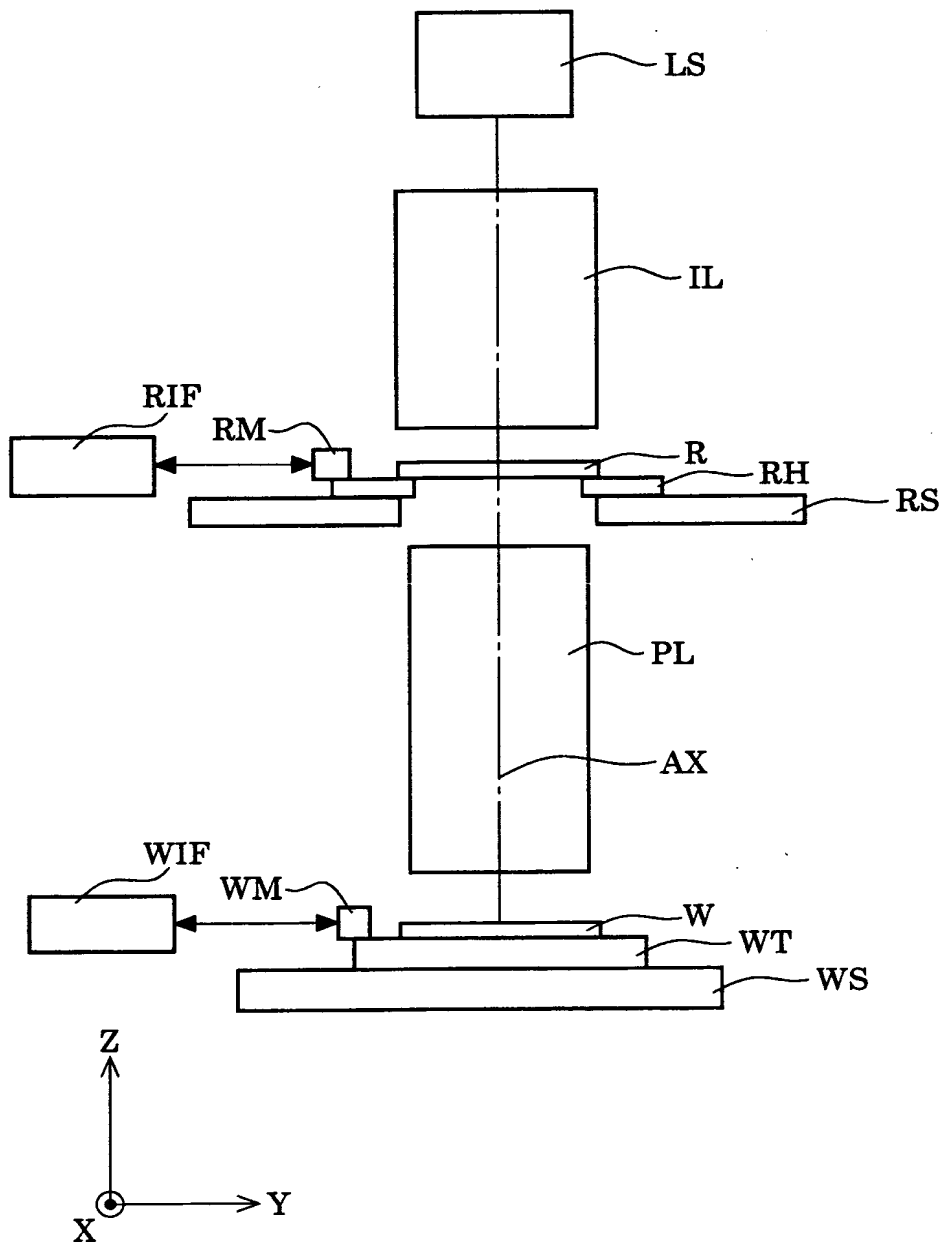
W S ウェハステージ

A S 開口絞り

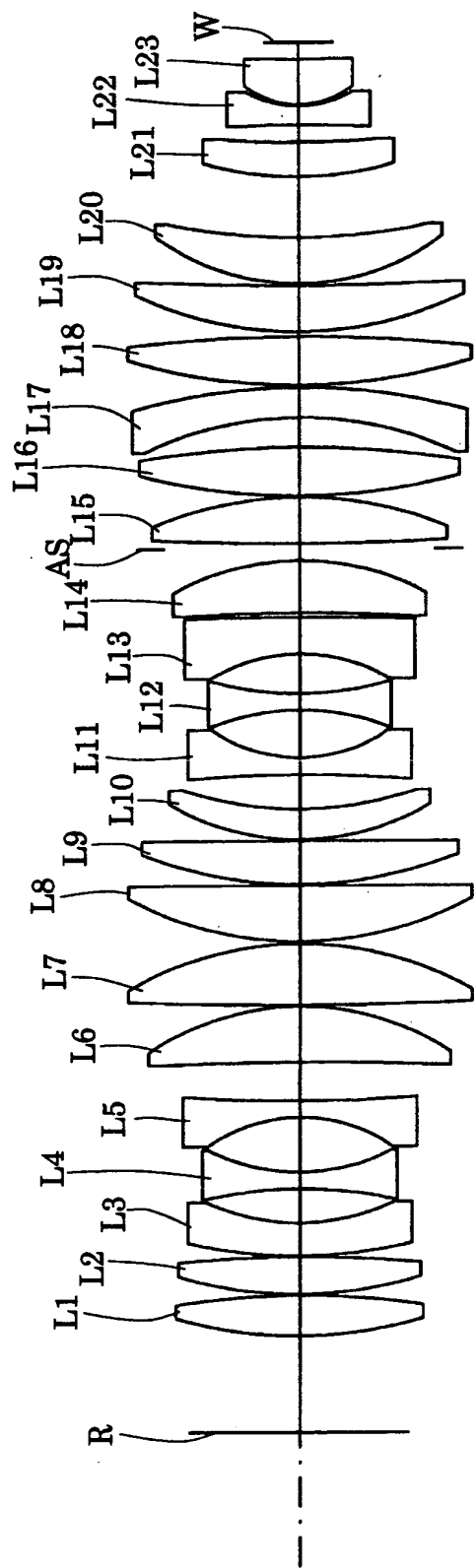
L i レンズ成分

【書類名】 図面

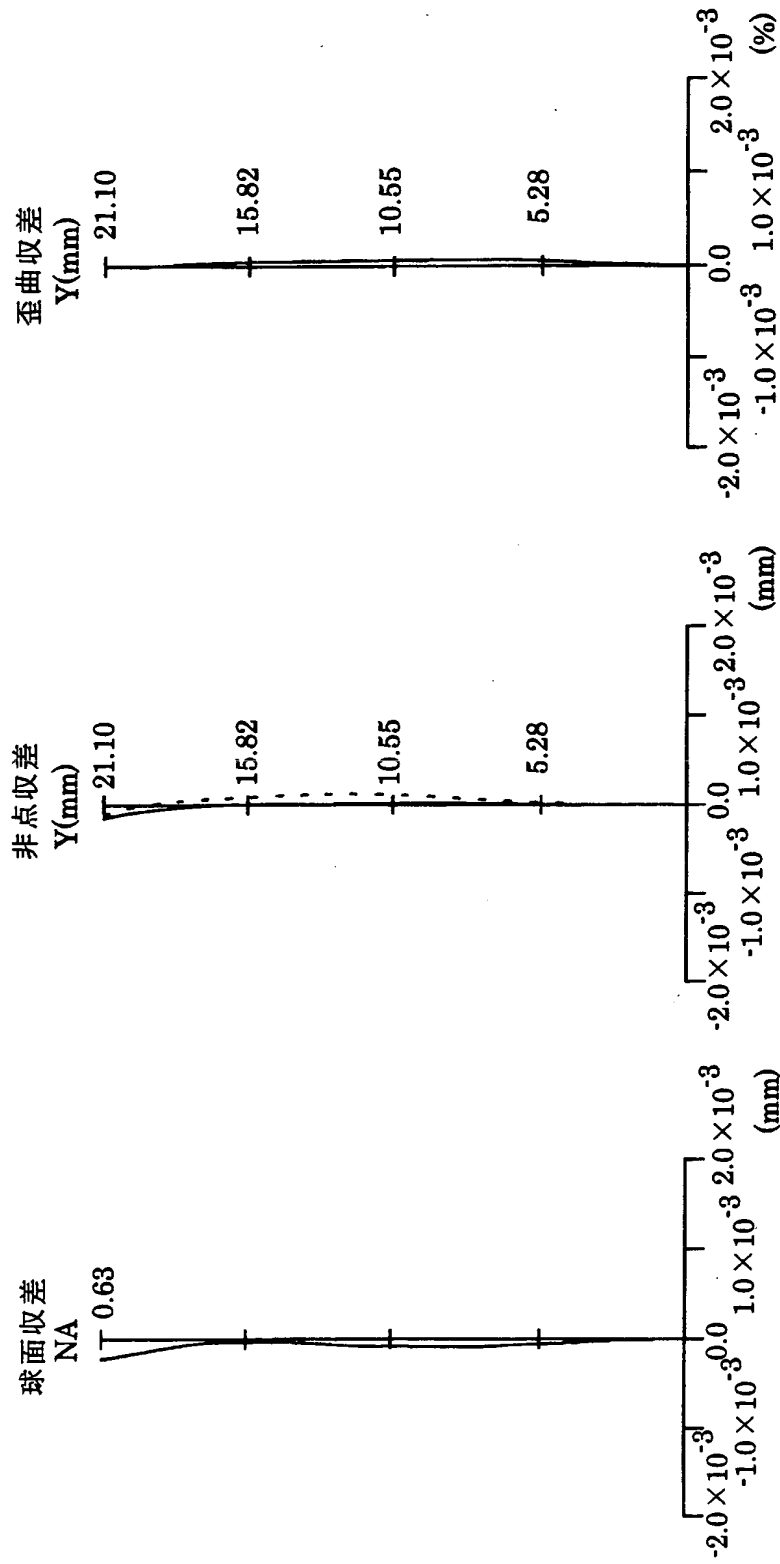
【図 1】



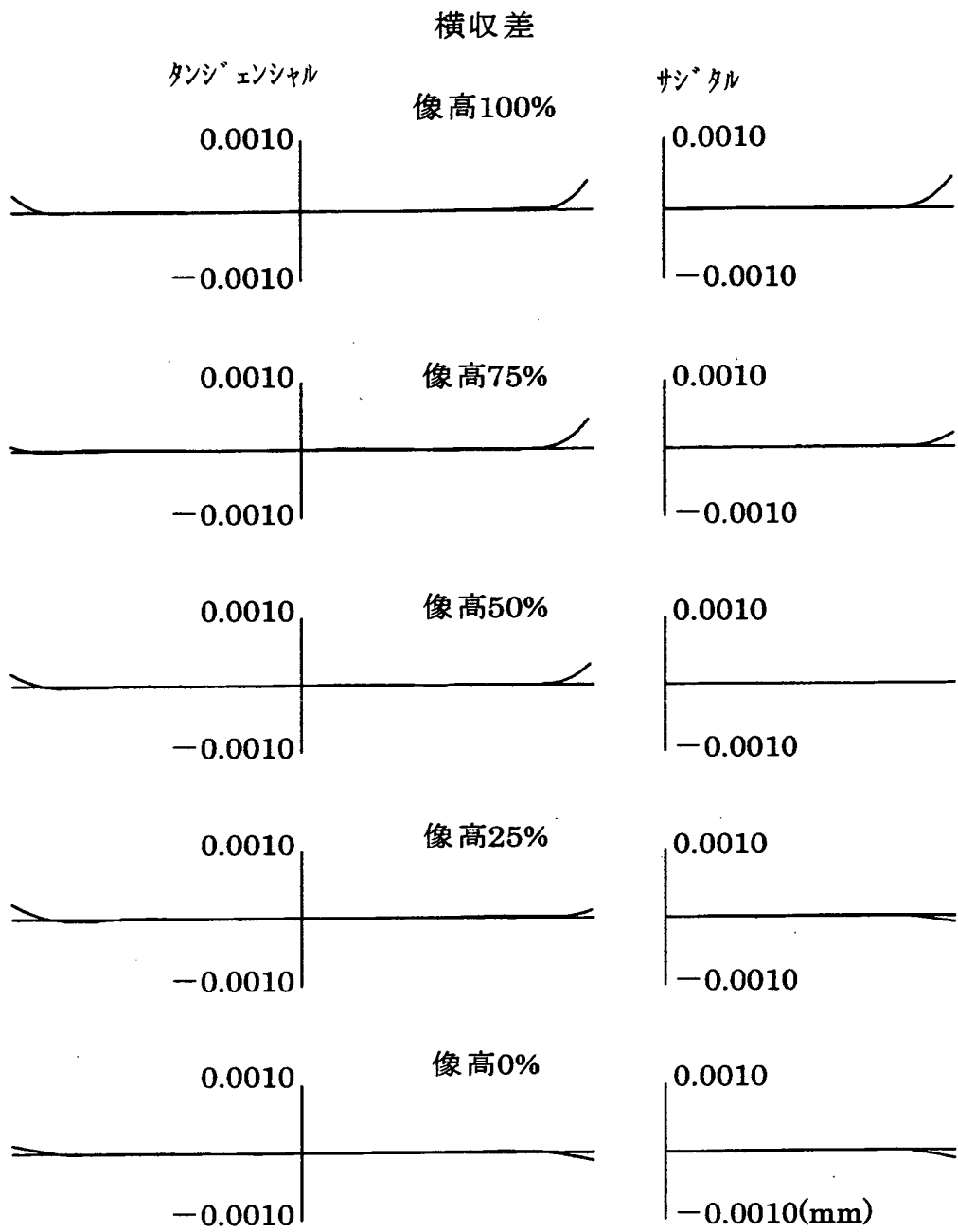
【図 2】



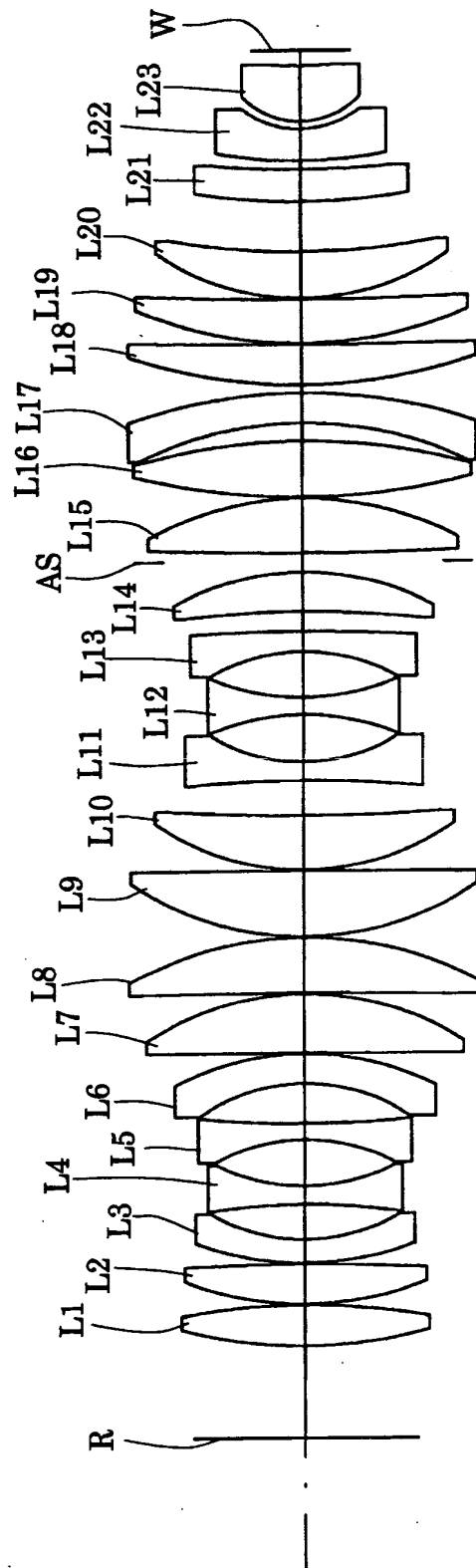
【図 3】



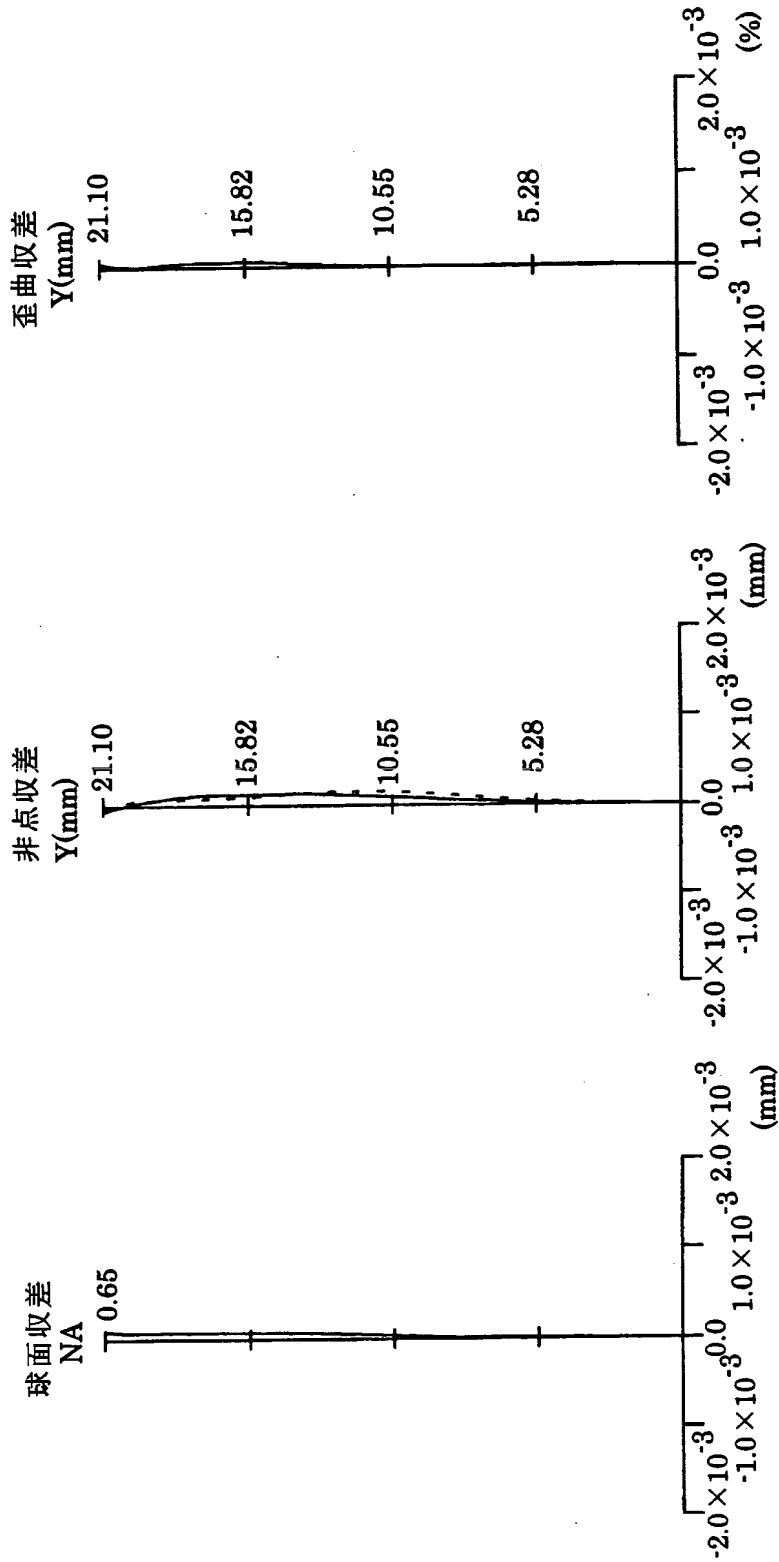
【図 4】



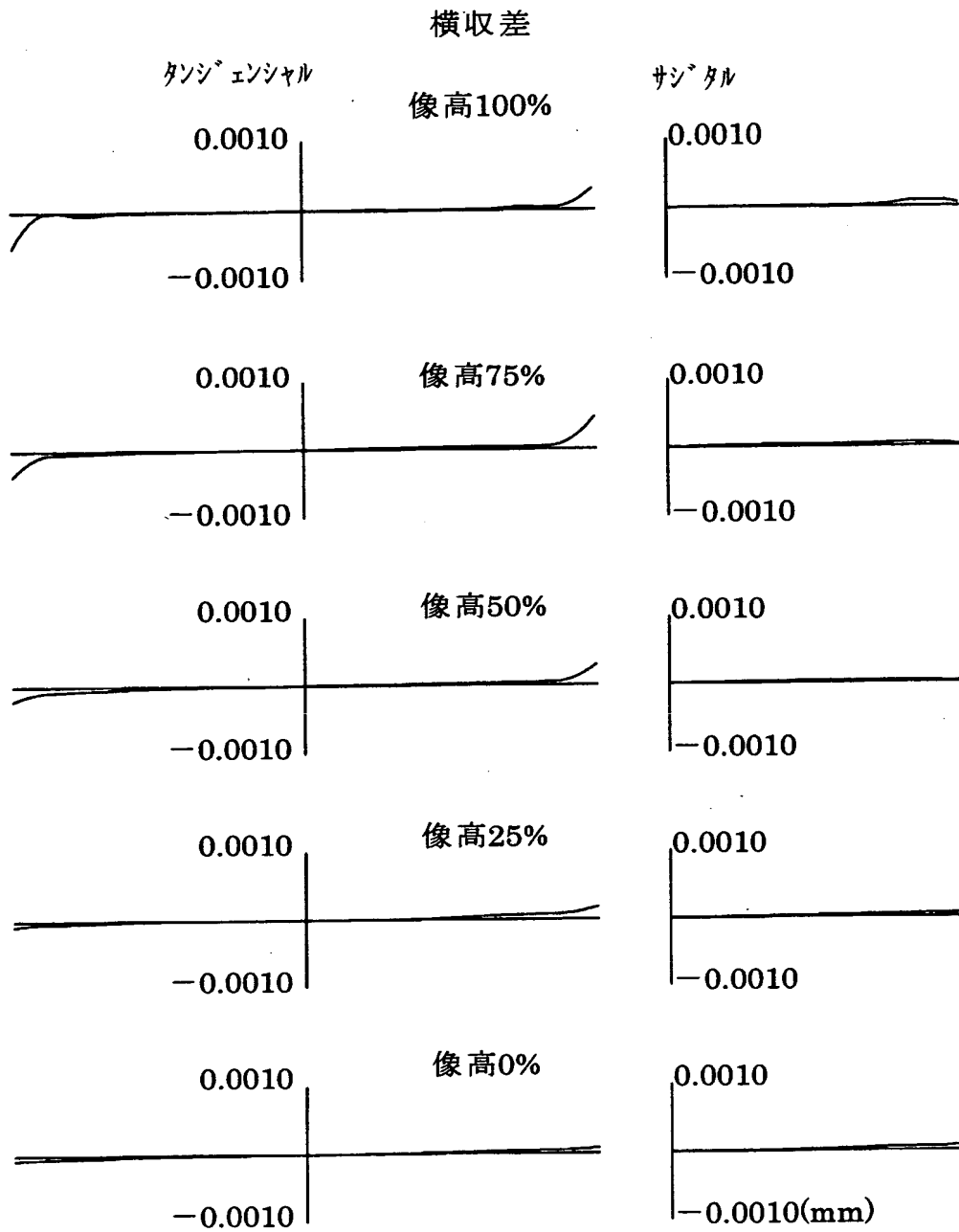
【図 5】



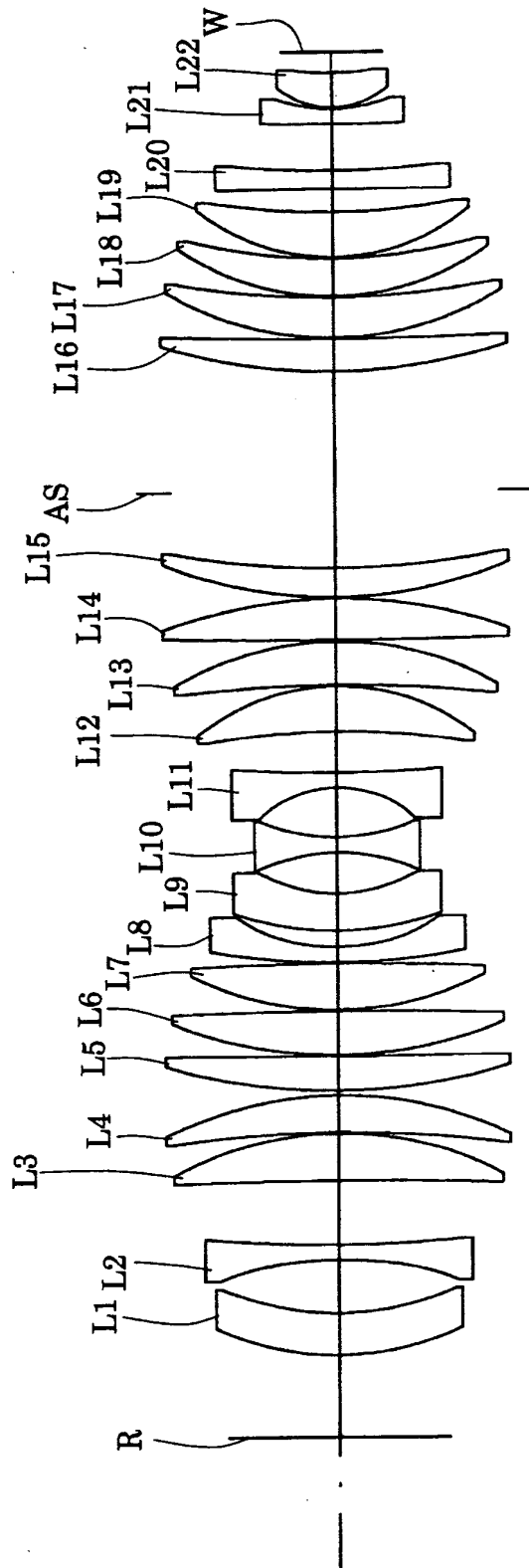
【图 6】



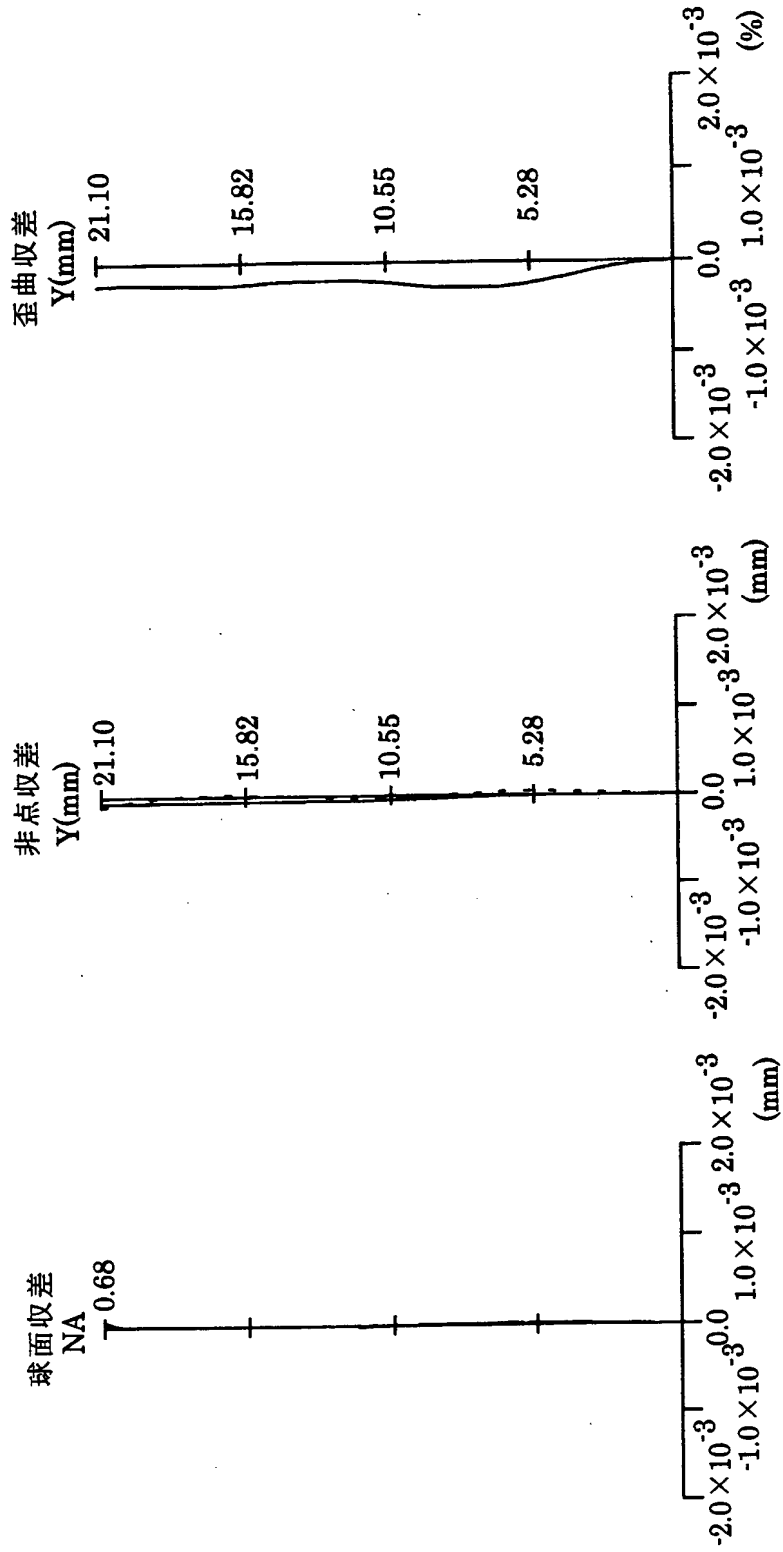
【図 7】



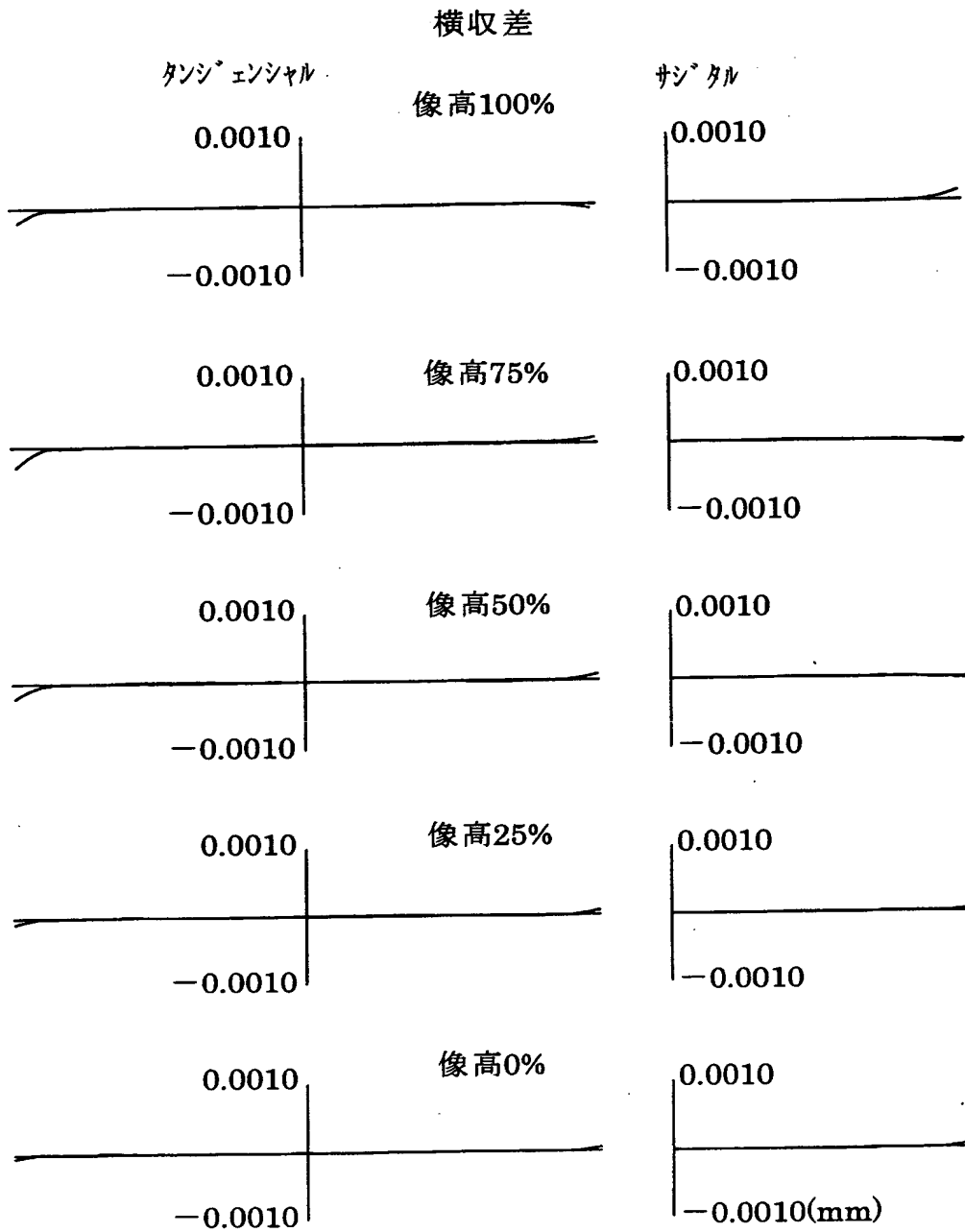
【図 8】



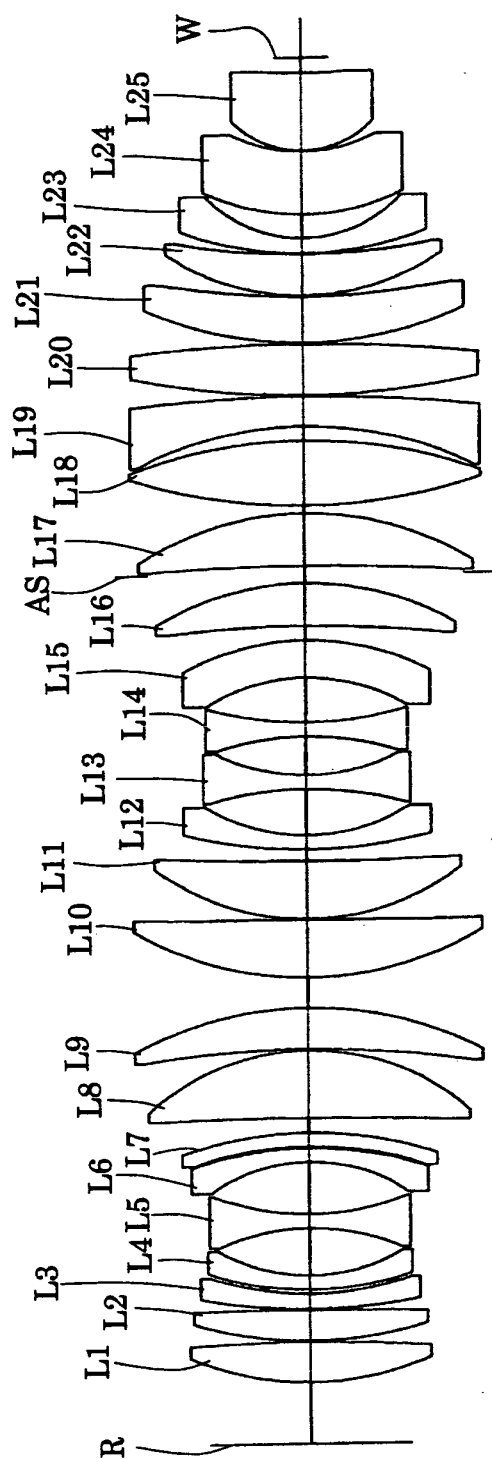
【図 9】



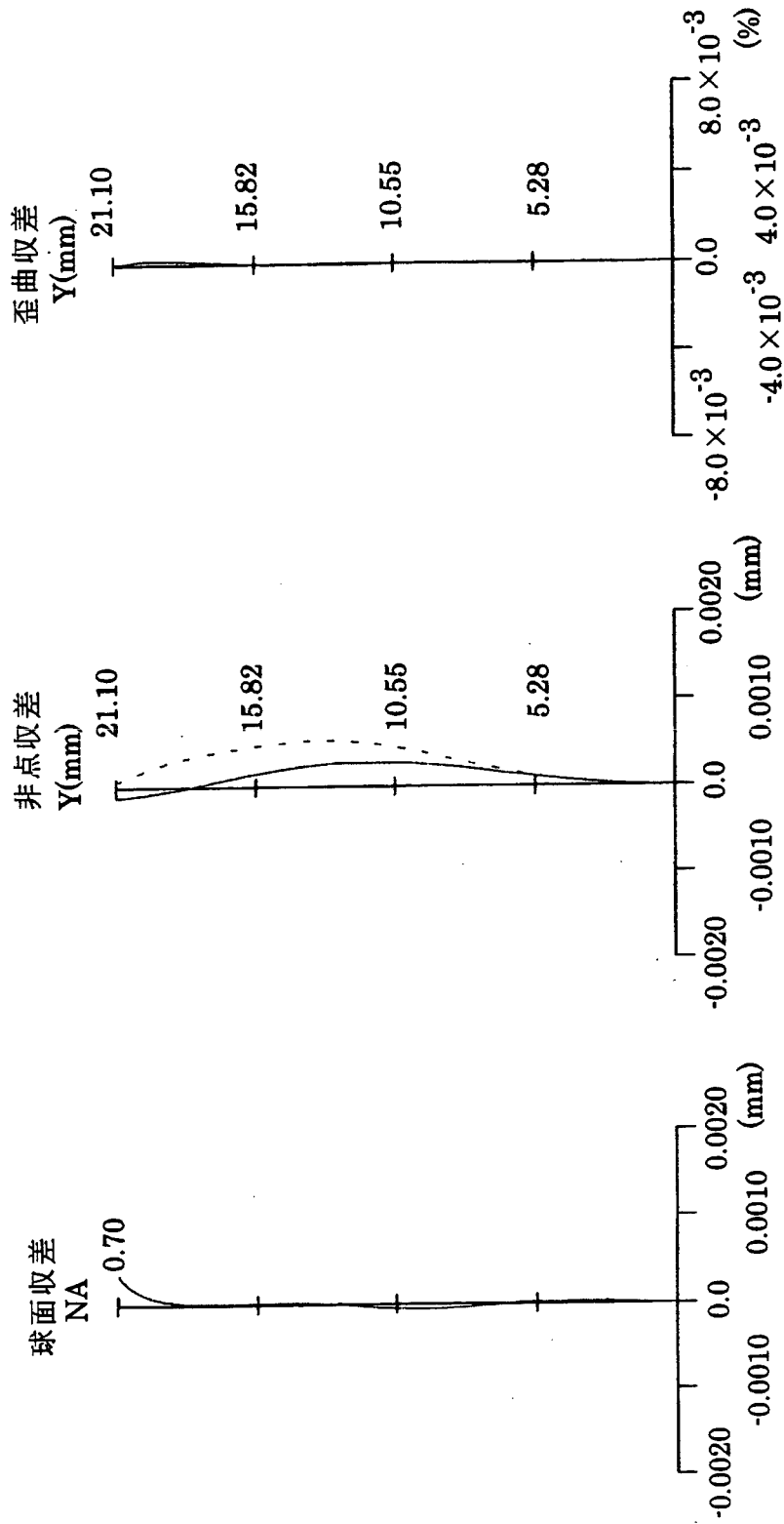
【図 10】



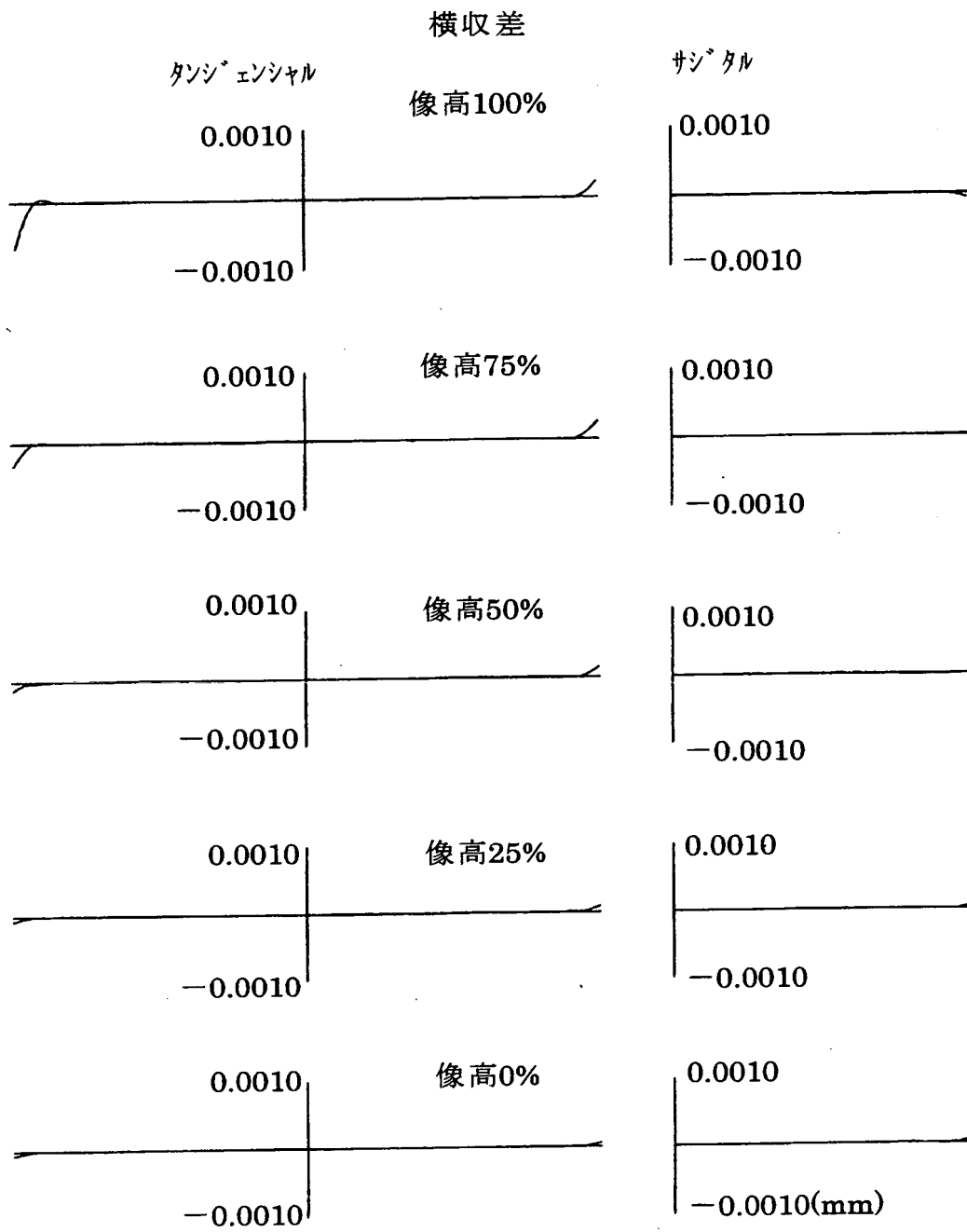
【図 11】



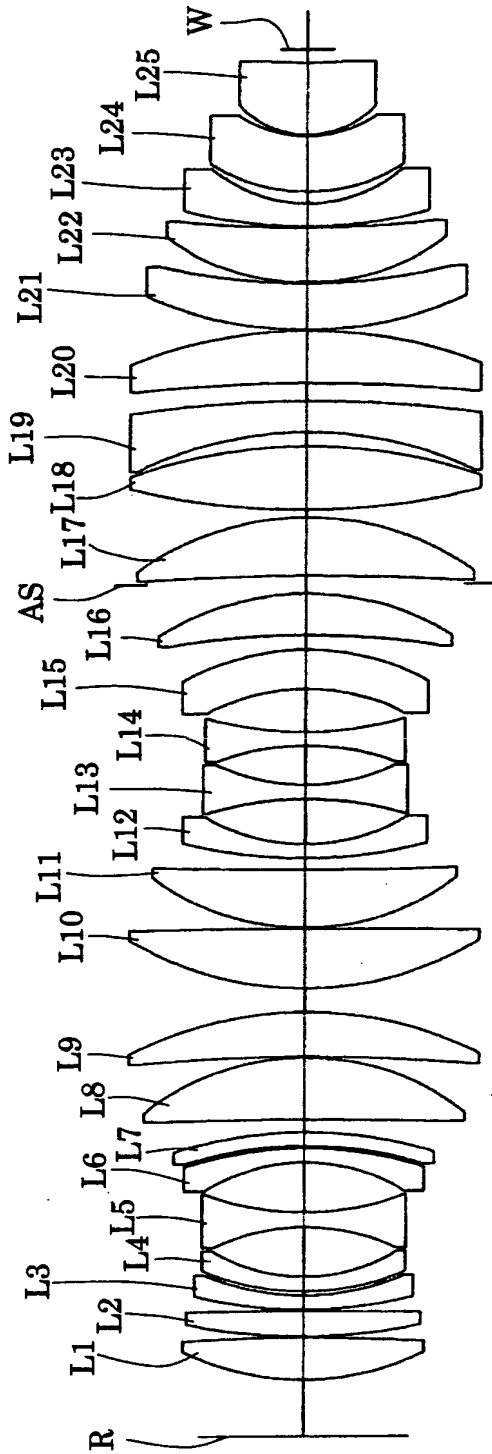
【图 1 2】



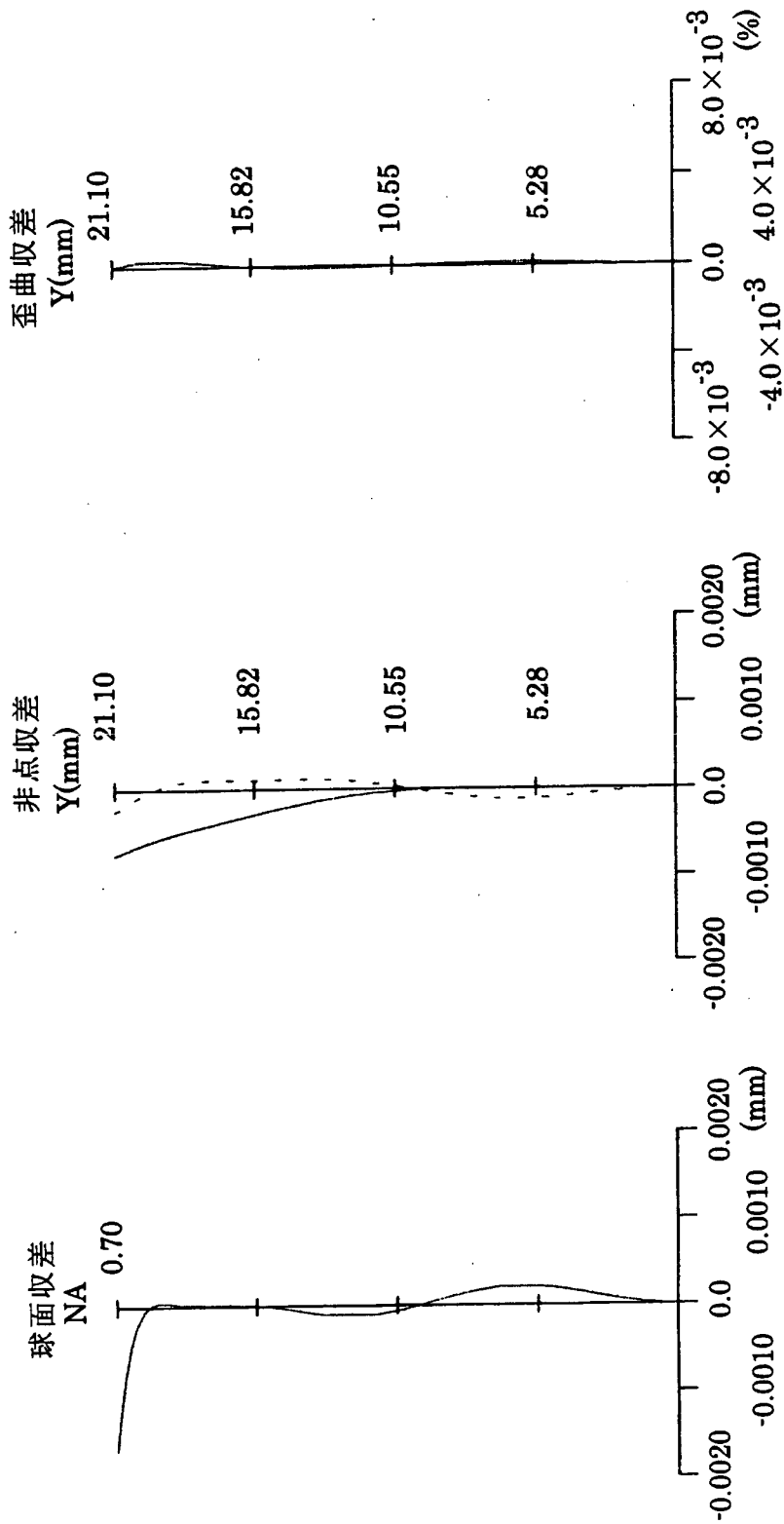
【図 13】



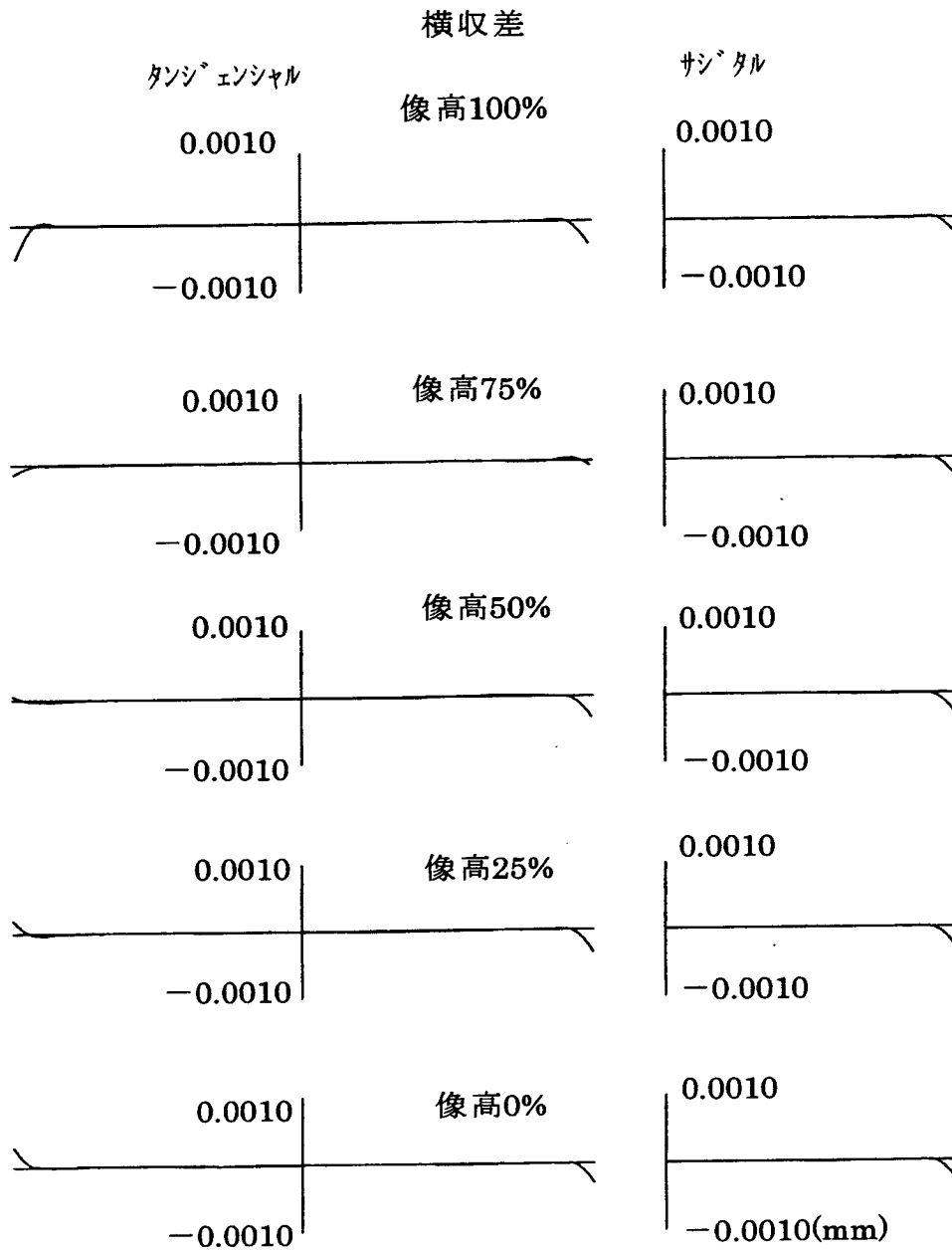
【図 14】



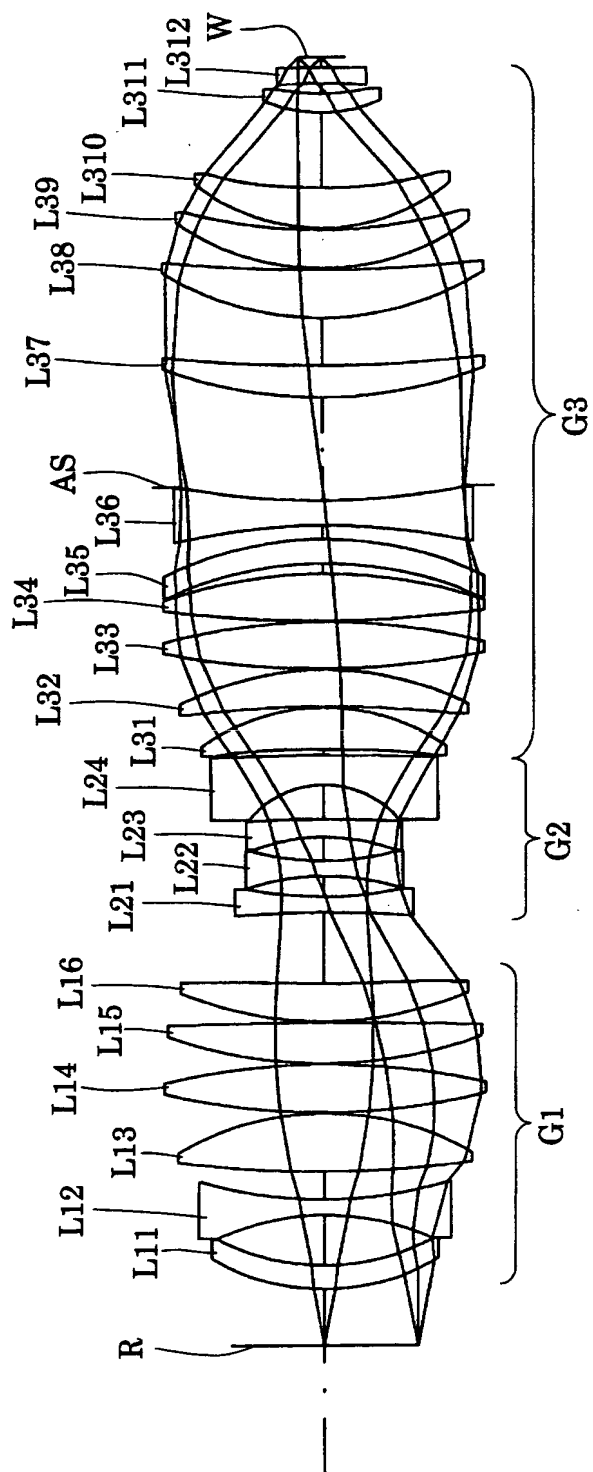
【图 15】



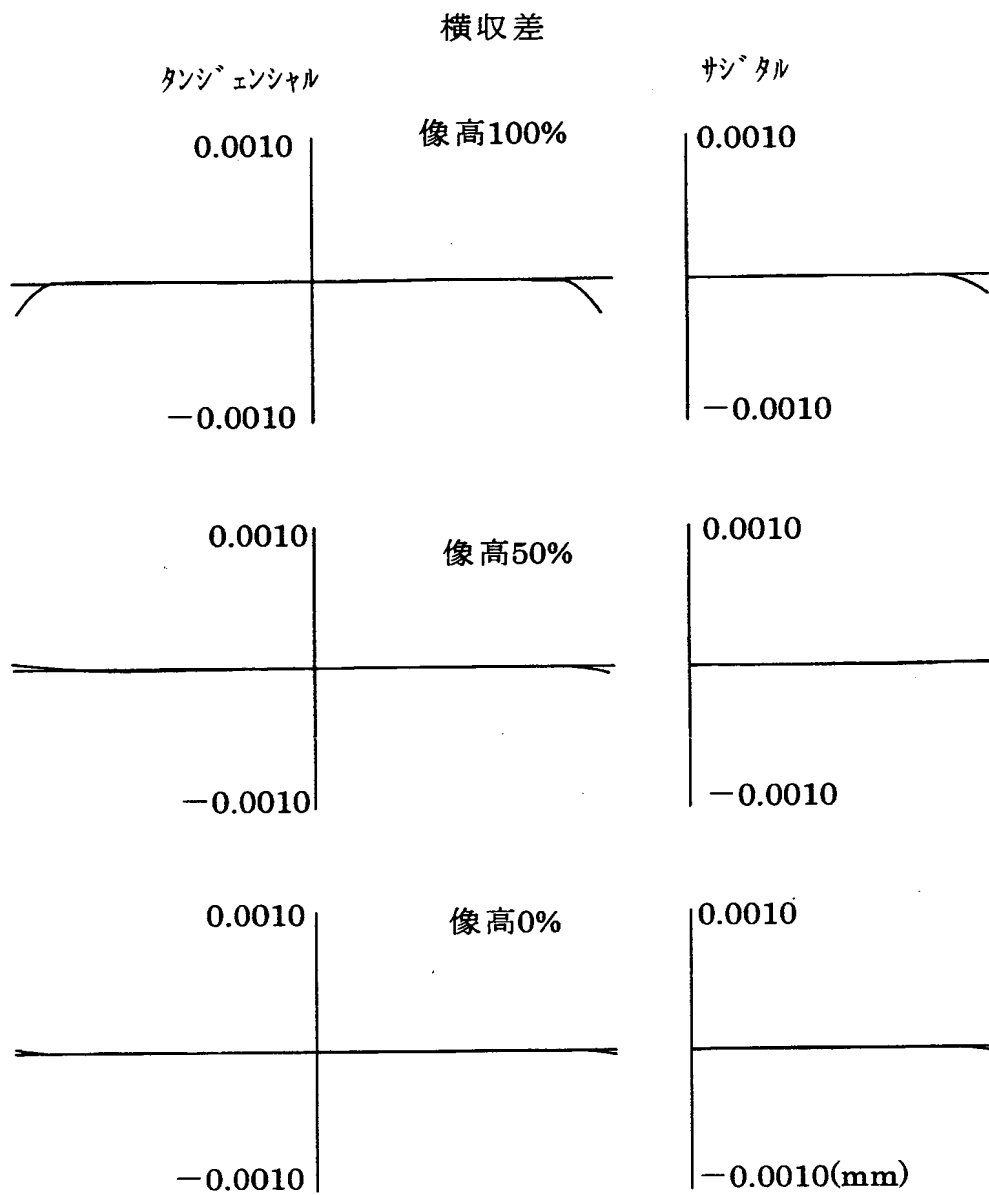
【図 1 6】



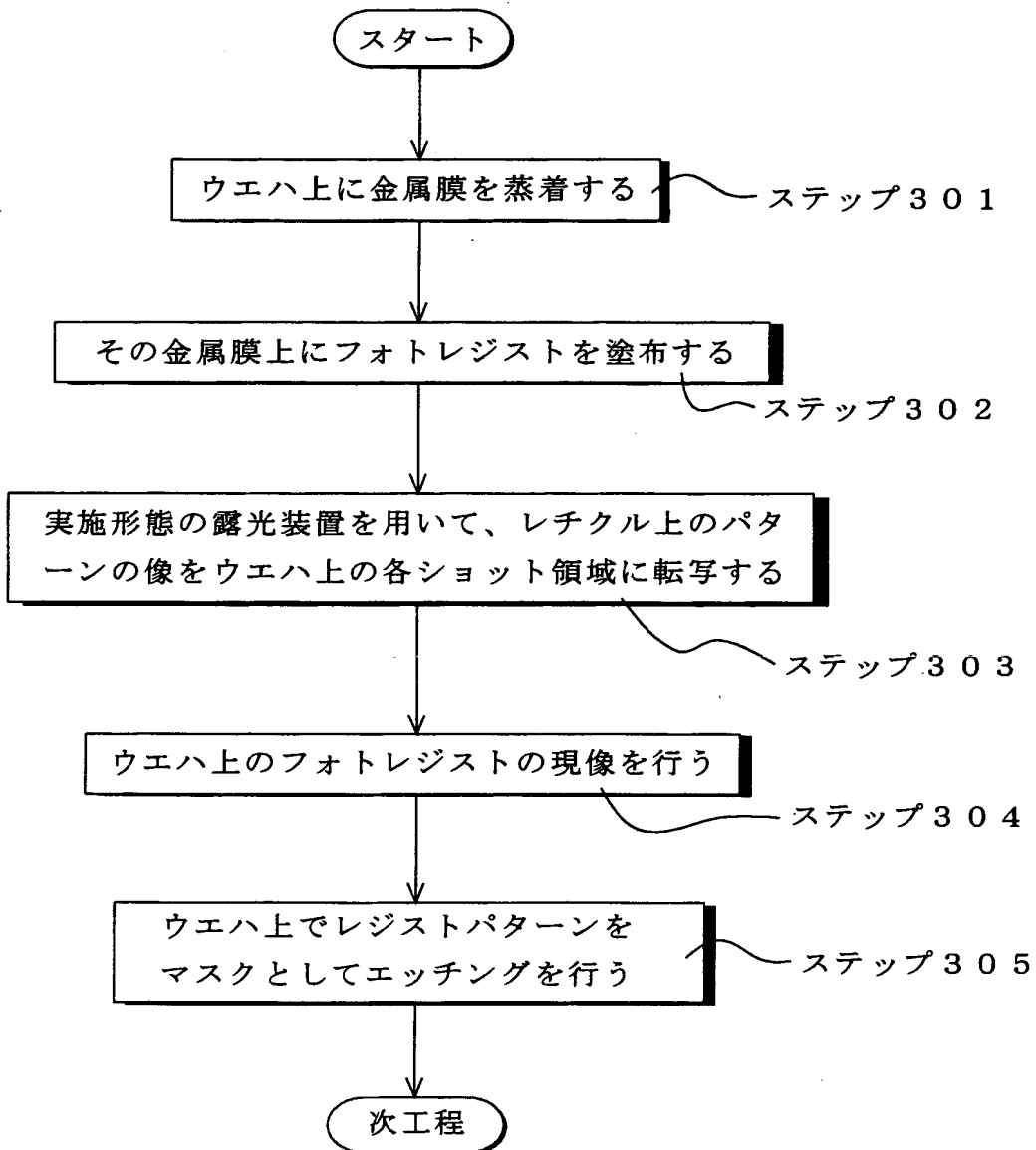
【図 17】



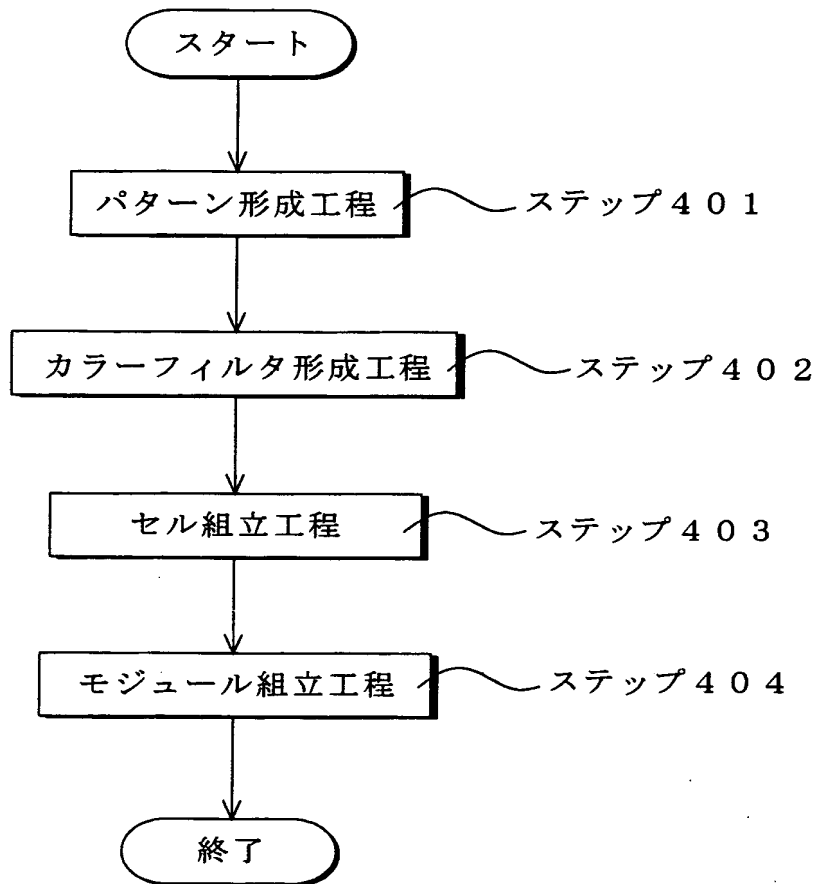
【図 18】



【図 19】



【図20】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 両側にほぼテレセントリックで、十分に大きな開口数および十分に広い結像領域を確保しつつ、ディストーションを含む諸収差が良好に補正された、コンパクトで高性能な投影光学系。

【解決手段】 第1物体(R)のパターン像を第2物体(W)上に形成する投影光学系。投影光学系は、1.6以下の屈折率を有する光学材料で形成され、第1物体側および第2物体側の双方に実質的にテレセントリックである。また、光の波長を λ とし、第1物体と第2物体との距離をLとし、第2物体側の開口数をNAとし、第2物体上における最大像高を Y_0 としたとき、 $(\lambda \times L) / (NA \times Y_0^2) < 1.5 \times 10^{-3}$ の条件を満たしている。

【選択図】 図2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2003-003869
受付番号	50300029382
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成15年 1月16日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成15年 1月10日
-------	-------------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日 1990年 8月29日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
氏 名 株式会社ニコン